

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص تقنية التصنيع الغذائي

أسس هندسة التصنيع الغذائي

115 صنع

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل و المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " أسس هندسة التصنيع الغذائي - نظري " لمتدربي قسم" تقنية التصنيع الغذائي " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد صلى الله عليه وعلى آله وصحبه أجمعين. أما بعد أصبح تصنيع الأغذية في هذا العصر من الصناعات الهامة التي توفر للمستهلك جميع متطلباته بصورة مصنع غذائي ذي جودة عالية. ونتيجة لازدياد عدد السكان فإنه لابد من اتباع السبل الهندسية التي تساعد على توفير الغذاء وجعله في متناول المستهلكين.

و نتيجة للتطور في مجال تصنيع الأغذية في المملكة العربية السعودية واهتمام المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتخريج متدرب تقني في التصنيع الغذائي. لذا فإنه يسعدنا أن أضع بين يدي متدربي الكليات التقنية هذه الأسس الهندسية للتصنيع الغذائي والتي تهتم بعمليات التصنيع والحفظ والتداول للمنتجات الغذائية وذلك بصورة سهلة تعد كمرجع من مراجع قسم تقنية التصنيع الغذائي حيث تتناول هذه الحقيبة التدريبية أسس هندسة التصنيع الغذائي لمتدربي قسم تقنية التصنيع الغذائي للكليات التقنية والتي تحتوي على أربع وحدات (الأبعاد والوحدات، أجهزة القياس، اتزان الكتلة والطاقة، خليط الغازات والرطوبة). مشتملة على الأمثلة والأشكال والخرائط كما تحتوي الحقيبة في النهاية على المراجع العلمية.

أسس هندسة تصنيع غذائي

الأبعاد والوحدات

الوحدة الأولى : الأبعاد الوحدات .

الجدارة: التعرف على الأبعاد والوحدات وتحويل الوحدات.

الأهداف: أن يكون المتدرب قادراً على استخدام النظام العالمي للوحدات وتحويل الوحدات من نظام لآخر.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة:4 ساعات

الوسائل المساعدة:

- جهاز عرض باستخدام الحاسب.
- بعض الأشكال المتعلقة بالتحويلات

الأبعاد والوحدات

Units and dimensions

من الضروري فهم الأسس الهندسية للأبعاد والوحدات نظراً لكثرة مصطلحات الأبعاد وأنظمة الوحدات حيث في النهاية يكون هناك المقدرة على التحويل بين الوحدات المختلفة أثناء تشغيل ومراقبة أجهزة التصنيع الغذائي.

1.1 تعريف الأبعاد والوحدات

الأبعاد هي تعابير عن نوع الكمية الفيزيائية . فمثلا الطول ، المساحة ، الحجم ، الزمن ، القوة ، الكتلة ، السرعة ، الحرارة ، الطاقة ، ....الخ كلها أبعاد مختلفة.

و يمكن التعبير عن هذه الأبعاد بأبعاد أخرى . فمثلا المساحة = مربع الطول ، السرعة = المسافة على الزمن.

الوحدات هي تعابير تستخدم لقياس حجم أو مقدار كمية فيزيائية لها أبعاد محددة . فمثلا البوصة (in) القدم (ft) السنتيمتر (cm) المتر (m) كلها وحدات للطول.

2.1 تعريف بعض الوحدات المشتقة

1.2.1 القوة Force

القوة (F) التي تعمل على جسم ما كتلته m [kg] لتجعله يتحرك بعجلة a [m / s^2] هي:

$$F = m a$$
$$= m\,[kg]\; a\,[m / s^2]$$
$$= ma\,[\,kgm/s^2]$$
$$= ma\,[N]$$

2.2.1 الضغط Pressure

الضغط (P) هو القوة (F) على وحدة مساحة (A) .

أي $P = F/A$

3.2.1 الطاقة Energy

الطاقة (E) هي الشغل الحراري يتم بواسطة قوة (F)لمسافة .(l).

أي E = Fl

= F [N] l [m]

= Fl [Nm]

= Fl [J]

4.2.1 القدرة Power

القدرة (Pr) هي معدل استهلاك الطاقة .

أي Pr = E [J]/T[s]= E/T [W]

3.1 وحدات النظام العالمي SI Units

1.3.1 الوحدات الأساسية

و هي الوحدات التي يمكن اشتقاق كل الوحدات الأخرى منها . و هي تشمل :

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
الطول	L	متر	m
الكتلة	M	كيلوجرام	kg
الزمن	T	ثانية	s

2.3.1 وحدات مشتقة من الوحدات الأساسية

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
القوة	F	نيوتن	N
الضغط	P	باسكال	Pa
الطاقة	E	جول	J
القدرة	Pr	وات	W

3.3.1 وحدات قياس أخرى مستعملة

البعد	الرمز	اسم وحدة القياس	رمز وحدة القياس
الحجم	V	لتر	l
الكتلة	m	طن	t
الضغط	P	بار	bar

4.3.1 التحويل من وحدات أخرى شائعة إلي النظام العالمي

1. الطول	1 in= 0.025 m 1 ft=0.305 m 1 yd=0.914 m
2. المساحة	$1 in^2 = 6.542 cm^2$ $1 ft^2 = 0.093 m^2$ $1 yd^2 = 0.836 m^2$
4. السرعة	1 km/h = 0.277 m/s 1 mile/h = 0.44694 m/s
5. الكتلة	1 lb = 453.6 g = 0.454 kg 1 short ton = 970.2 kg = 0.907 t 1 long ton = 1016 kg = 1.016 t
6. الضغط	1 atm = 101325 Pa = 1.01325 bar 1 torr = 1 atm/760 = 133.322 Pa = 1.33322 mbar 1 mmHg = 133.322 Pa = 1.33322 mbar $\frac{1 lb_f}{ft^2} = 47.881 Pa$ $\frac{1 lb_f}{in^2} = 1 psi = 6894.8$

7. اللزوجة	$1Pas = 1\frac{Ns}{m^2} = 1\frac{kg}{ms} = 10P$ $1P = 0.1Pas = 100cP$ $1cP = 0.001Pas = 1mPas$ $1\frac{lb}{fts} = 1.49\frac{kg}{ms}$
8. الطاقة	$1J = 2.7 10^{-7} kWh$ $1kcal = 4.1868kJ$ $1Btu = 0.252kcal = 1.0551kJ$
9. القدرة	1 kW= 1.34 HP = 0.953 Btu/s 1 HP = 0.746 kW 1 Btu/s = 1.05 kW = 0.178 kcal/s
10. معامل التوصيل الحراري	$1\frac{Btu}{ft^2 h^0F} = 5.681\frac{W}{m^2 K}$
11. الحرارة النوعية	$1\frac{J}{kgK} = 3.844 10^{-4}\frac{kcal}{kgK}$ $1\frac{Btu}{lb^0F} = 4.19\frac{kJ}{kgK}$

5.3.1 بعض المضاعفات المستخدمة

المضاعف	الاسم	الرمز	مثال
10^{-9}	نانو	N	Nm
10^{-6}	ميكرو	μ	μm
10^{-3}	مبللي	m	mm
10^{-2}	سنتي	c	cm
10^{-1}	دبسي	d	dm
10^{3}	كيلو	k	kg
10^{6}	مجا	M	MHz

4.1 تحويل الوحدات conversion of units

1.4.1 تقديم

أي ناتج لأي تجربة ما يجب أن يعبر عنه في النهاية بأعداد . هذه الأعداد لا معنى لها إن لم تذكر وحدات قياسية لها . لذلك يجب أن يكون هناك إلمام تام بتحويل الوحدات من أي نظام آخر إلي النظام العالمي ، خاصة وأن معظم أجهزة القياس في الصناعات الغذائية مثل أجهزة قياس الضغط ، الحرارة ،

2.4.1 أمثلة لتحويل الوحدات

في عملية تحويل الوحدات يضرب الجانب المراد تحويل وحداته بواسطة ما قيمته واحد صحيح بحيث تتغير وحداته إلي الوحدات المطلوبة .

مثال 1.1

لتحويل 2 ft إلي m

$$2\,ft = 2\,ft\,\frac{0.3048m}{1\,ft} = 0.6096m$$

مثال 2.1

إذا كانت قراءة مقياس ضغط البخار تعادل 14.7 psi حول هذا الضغط إلي bar .

$$14.7\,psi = 14.7\,psi\,\frac{1lbf/in^2}{1psi}\,\frac{32.2lbft/s^2}{1lbf}\,\frac{12in}{1ft}\,\frac{39.37in}{1m}\,\frac{0.454kg}{1lb}\,\frac{1Pa}{1kg/m\,s^2}\,\frac{1bar}{10^5\,Pa}$$

$$= \frac{14.7*32.2*12*39.37*0.454}{10^5}\,bar$$

$$= 1.013ba$$

إذا كان الفقد في الحرارة من خلال جدران فرن كالآتي 6500 Btu/h . فإذا شغل هذا الفرن لمدة ساعتين . كم تكون كمية الكهرباء بـ kWh التي يحتاج إليها الفرن للمحافظة على درجة حرارته ؟

الطاقة الحرارية المفقودة في ساعتين = 1300 Btu

إذن الطاقة الكهربائية المطلوبة يجب أن تساوي الطاقة الحرارية المفقودة حتى لا يحدث انخفاض في درجة حرارة الفرن.

$$13000Btu = 13000Btu\,\frac{1054.85J}{1Btu}\,\frac{1Ws}{1J}\,\frac{1kW}{1000W}\,\frac{1h}{3600s}$$

$$= \frac{13000*1054.8}{1000*3600}\,kWh$$

$$= 3.81kWh$$

مثال 4.1

إذا كانت لزوجة سائل تعادل 40lb/fts أحسب لزوجة هذا السائل بـ cP .

$$40\frac{lb}{fts} = 40\frac{lb}{fts}\,\frac{0.454kg}{1lb}\,\frac{1ft}{0.3048m}\,\frac{1cP}{0.001kg/ms}$$

$$= \frac{40*0.454}{0.3048*0.001}\,cP$$

$$= 59580cP$$

أسس هندسة تصنيع غذائي

أجهزة القياس

الوحدة الثانية : أجهزة القياس .

الجدارة: معرفة الأنواع المختلفة من أجهزة القياس ومعايرتها

الأهداف: أن يكون المتدرب ملماً بالأنواع المختلفة من أجهزة القياس وكيفية استخدامها

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة 90٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: 3 ساعات

الوسائل المساعدة:

- أجهزة قياس مختلفة.
- خطوط التصنيع الغذائي.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قادراً على معرفة تحويل الوحدات التي سبقت دراستها في الوحدة الأولى.

أجهزة القياس

Measuring devices

تعد معرفة أجهزة القياس من الأمور المهمة التي تجب معرفتها أثناء تصنيع منتجات المواد الغذائية. وفي هذه الوحدة سنلقي الضوء على أجهزة قياس الضغط وأجهزة قياس درجة الحرارة وأجهزة قياس المستوى.

1.2 **أجهزة قياس الضغط** pressure measuring devices

1.1.2 تعريفات الضغط

إذا كان هنالك جسم تحت اتزان ساكن و تقع عليه قوة ضغط فان شدة هذه القوة و التي يعبر عنها كقوة F على وحدة مساحة A تعرف بالضغط P . وهو عمودي على السطح الذي يعمل عليه . و يتساوى الضغط على أي نقطة على هذا السطح .

حيث $P = F/A$

ويعرف الضغط الجوي atmospheric pressure بأنه ضغط عمود هواء الغلاف الجوي على وحدة مساحة . وهو يتغير من مكان إلى آخر حسب ارتفاع المكان وانخفاضه عن سطح البحر . الضغط الجوي القياسي هو الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر و يعادل 101.3 kPa , 1.013 bar , 14.70 psi , 760 mm Hg .

أما ضغط المقياس gauge pressure فهو الضغط المبين بواسطة أجهزة قياس الضغط المختلفة حيث تكون قراءة الضغط الجوى في مكان مقياس الضغط تعادل صفرا.

و بهذا يكون الضغط المطلق absolute pressure مساويا لضغط المقياس زائدا الضغط الجوى. إذا كان هناك تفريغ (خلخلة) vacuum فان الضغط المطلق يعادل الضغط الجوى ناقصا التفريغ

2.1.2 وحدات قياس الضغط

وحدة قياس الضغط هي وحدة قياس القوة على وحدة قياس المساحة. وهي على النظام العالمي تعادل $\frac{N}{m^2}$

وهو ما يعرف بالباسكال Pa . و لصغر قيمة الباسكال تستخدم وحدة القياس بار bar حيث

$$1bar = 10^5 Pa$$

.

وهناك وحدات أخرى يكثر استعمالها في أجهزة قياس الضغط مثل $mmHg, \frac{kgf}{cm^2}, \frac{lbf}{in^2}, Psi$

لتحويل وحدات الضغط المختلفة يمكن استعمال الجدول 1.2

جدول 1.2 تحويلات وحدات الضغط

mm H2O 4C	inH2O 4C	mm H2O 0C	inH2 0 0C	atm	Psi	Kgf/cm2	bar	KPa	
102.0	4.015	7.501	0.2953	0.009870	0.1450	0.01020	0.01	1.0	1 kPa
10200	401.5	750.1	29.53	0.9870	14.50	1.020	1.0	100.0	1 bar
10000	393.7	735.6	28.96	0.9678	14.22	1.0	0.9807	98.07	1kgf/cm2
703.1	27.68	51.72	2.036	0.06805	1.0	0.07031	0.06895	6.895	1lbf/in2
10330	406.8	760.0	29.92	1.0	14.70	1.033	1.013	101.3	1 atm
345.3	13.60	25.40	1.0	0.03342	0.4912	0.03453	0.03386	3.386	1 inHg
13.60	0.5352	1.0	0.03937	0.001316	0.01934	0.001360	0.001333	0.1333	1 mmHg
25.40	1.0	1.868	0.07356	0.002458	0.03613	0.002450	0.002491	0.2491	1 inH2O
).1	0.03937	0.07356	0.00289	0.9676 10^{-4}	0.00142	0.0001	0.9807 10^{-4}	0.00980	1mm H2O

3.1.2 أجهزة قياس الضغط

أجهزة قياس الضغط ضرورية ليس من ناحية الأمن الصناعي فقط ولكن لمعرفة مقدار الطاقة المستخدمة و معرفة درجات الغليان أو الانصهار .

أجهزة قياس الضغط تنقسم إلي ثلاثة أقسام :

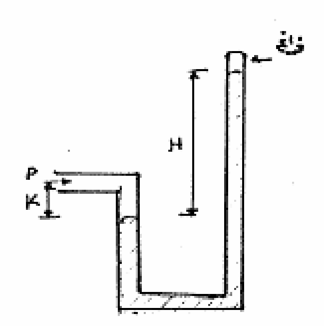
أ. أجهزة تعتمد على قياس عمود السائل .

ب.أجهزة تعتمد على قياس الانحراف في جسم جزء مرن .

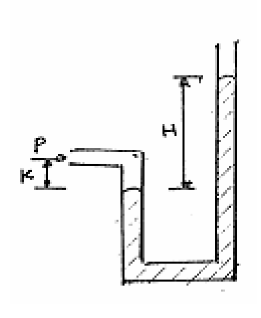
ج.أجهزة قياس كهربائية .

أ. أجهزة قياس عمود السائل (المانوميتر)

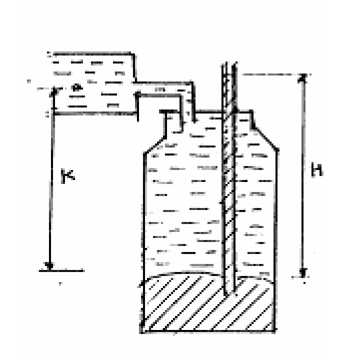
وهى التي يتم فيها تعادل للضغط المراد قياسه بواسطة ضغط عمود السائل . إذا كانت كثافة عمود السائل معلومة فان ارتفاع عمود السائل هو مقياس لذلك الضغط . ارتفاع عمود السائل يمكن أن يعبر عنه بوحدات طول أو يعدل مباشرة لوحدات ضغط . تعرف هذه الأجهزة بالمانوميتر manometer . وهو يأخذ عدة أشكال منها ما هو مبين في الأشكال 1.2 ، 2.2 ، 3.2 :-



شكل 1.2 مانوميتر مقفول على شكل U closed U-tube



شكل 2.2 مفتوح على شكل U open U-tube



شكل 3.2 المقياس المفتوح open gauge

حيث ارتفاع السائل في أنبوبة عمودية تتصل بأي جهاز يحتوي على سائل هي مقياس مباشر للضغط عند نقطة الاتصال هذه . يستخدم هذا النوع كثيرا في قياس مستوى السائل في الصهاريج وأوعية التخزين .

السائل المستخدم في هذه الأجهزة يمكن أن يكون أي سائل لا يذوب مع السائل المراد قياس ضغطه . يستخدم في حالات فرق الضغط العالي سائل ذو كثافة عالية مثل الزئبق وفي حالات فرق الضغط المنخفض يستخدم سائل ذو كثافة منخفضة مثل الكحول أو الماء أو رابع كلوريد الكربون .

في كل الأشكال السابقة إذا كان الزئبق هو المستخدم فان :-

$$P_A = (H_{Hg}\rho_{Hg} - K\rho_A)g$$

حيث :-

P_A= ضغط السائل المراد قياسه

ρ_A = كثافة السائل

H_{Hg} = ارتفاع عمود الزئبق

ρ_{Hg}= كثافة الزئبق

K = المسافة بين نقطة الاتصال وسطح التقاء السائل مع الزئبق

g = عجلة الجاذبية الأرضية

ب. أجهزة قياس الانحراف في جزء مرن

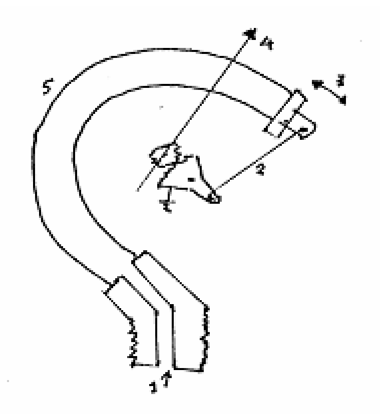
وهى التي يقوم فيها الضغط المراد قياسه بتحريك الجزء المرن لمادة (عادة معدن) في مداها المرن . يتناسب مدى الانحراف طرديا مع الضغط . وهى تنقسم إلي ثلاثة أقسام :-

1. أنابيب بوردون Bourdon tubes

وهى التي تستخدم كثيرا في الصناعة خاصة نوع الأنبوب المرن على شكل C كما في الشكل 4.2

يجب ألا تتعرض أنابيب بوردون لدرجات حرارة عالية أكثر من 65 C إلا إذا صممت خصيصا لهذا الغرض . وإذا استخدمت لقياس ضغط مائع ساخن يجب أن يكون هناك عازل مائي liquid seal لعزل المائع الساخن عن أنبوب بوردون .

عند قياس ضغط موائع تؤدي إلى التآكل أو موائع بها عوالق أو ما شابهها من التي يمكن أن تؤدي إلى تلف أنبوب بوردون يجب أن يزود مقياس بوردون بحجاب مرن لعزل المائع .



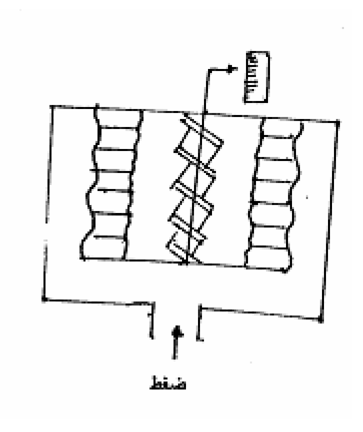
شكل 4.2 أنبوب بوردون

1.ضغط مراد قياسه 2. موصل 3. حركة 4. مؤشر 5. أنبوب بوردون

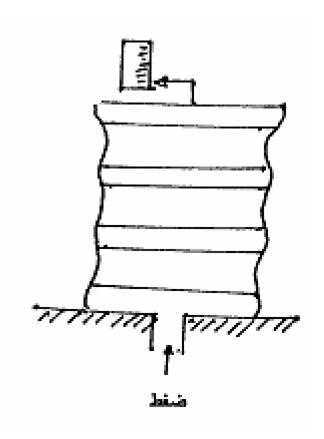
2. الأجهزة ذات الأسطح المرنة

وهى تحتوي على أسطوانة مرنة في اتجاه محورها الرئيس وبها انحناءات عميقة كما في الشكل 5.2 أو يحد من حركتها نابض كما في الشكل 6.2 . يمكن أن يضغط الضغط المراد قياسه على الجهاز من الخارج أو من الداخل وفي كل حالة يكون الضغط من الجانب الآخر هو الضغط الجوى .





شكل 5.2 أسطوانة مرنة



شكل 6.2 أسطوانة مرنة بها نابض

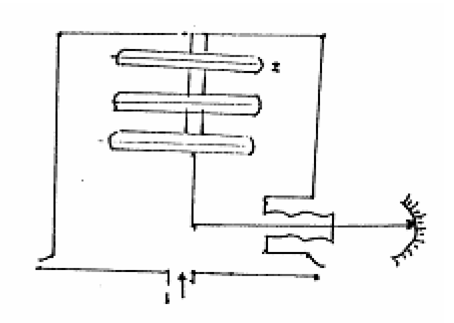
3. الأجهزة ذات الحجاب المرن

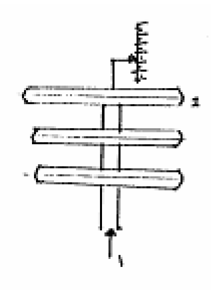
وهى نوعان :-

أ. تلك التي تعتمد على خاصية مرونة الحجاب .

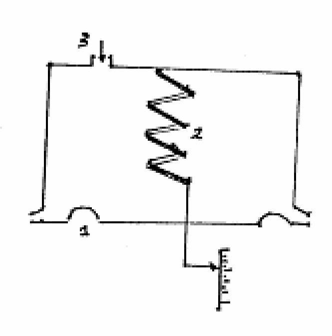
ب. تلك التي يحد من حركتها نابض أو أي عنصر آخر .

النوع الأول يحتوى على كبسولة واحدة أو عدة كبسولات كل منها يحتوى على حجابين متلاصقين . مدى الانحراف مع الضغط لكبسولة واحدة صغير ولهذا توصل عدة كبسولات مع بعضها لزيادة الانحراف كما في الشكل 7.2 لقياس الضغط المطلق أو الشكل 8.2 لقياس ضغط المقياس .


شكل 7.2 جهاز قياس الضغط المطلق


شكل 8.2 جهاز قياس ضغط المقياس
1.ضغط 2. حجاب مفرغ

النوع الثاني يستخدم لاحتواء الضغط وخلق قوة على العنصر المرن المقابل .يصنع الحجاب في هذه الحالة من المطاط أو الجلد . تحد حركة الحجاب بواسطة نابض يحدد الانحراف لكل ضغط (الشكل 9.2) . يستخدم هذا النوع في قياسات الضغط المنخفضة ، التفريغ أو قياسات فرق الضغط .



شكل 9.2 جهاز ذو حجاب ونابض
1. حجاب 2. نابض 3. ضغط

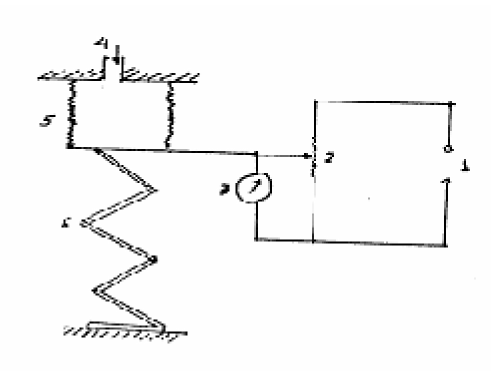
ج. أجهزة قياس كهربائية

1. مقياس ناقل الإجهاد strain gauge pressure transducer

إذا شد سلك مرن أو أي موصل كهربائي فان طوله سيزداد وقطره سيقل . تؤدي هذه التغيرات إلي زيادة مقاومة الموصل الكهربائي . الأجهزة التي تستخدم هذه الفكرة لقياس الانحرافات الصغيرة نتيجة الشد الناتج من الضغط تعرف بمقياس الإجهاد strain gauge . أجهزة قياس الضغط التي تستخدم مقياس الإجهاد متوفرة في أشكال مختلفة .

2. مقياس ناقل المقاومة resistive pressure transducer

يقاس الضغط الناتج في هذه الأجهزة بواسطة عنصر تتغير مقاومته الكهربائية بتغير الضغط. تستخدم معظم هذه الأجهزة نقطة اتصال متحركة عبر مقاومة متصلة. إذا كانت مساحة مقطع المقاومة ثابتة فان التغير في المقاومة يتناسب مع حركة نقطة الاتصال ويؤدي إلي تغير في قراءة مقياس الفولت (الشكل 10.2) . هذه القراءة هي مقياس جيد للضغط .



شكل 10.2 مقياس ناقل المقاومة

1. مصدر كالآتي 2. مقاومة 3. مقياس فولت 4. ضغط 5. أسطوانة مرنة 6. نابض

2.2 أجهزة قياس درجة الحرارة temperature measuring devices

1.2.2 درجة الحرارة

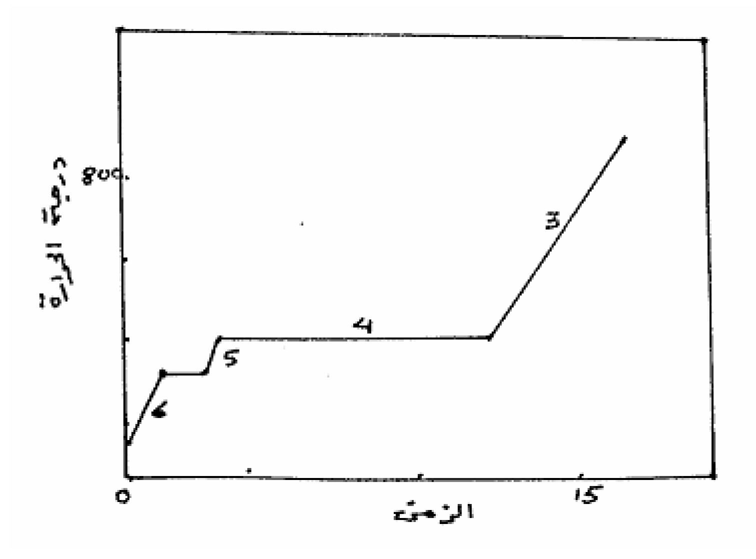
يعتبر مفهوم درجة الحرارة مفهوما طبيعيا للإنسان وذلك لأنها تمثل إحدى حواسه الأساسية . ولكن الجلد البشري غير دقيق بالقدر الذي يكفي لاستخدامه كمقياس للحرارة في الأغراض العملية . ومن عوائق الجلد البشري أنه لابد من انتقال كمية كافية من الطاقة الحرارية إليه قبل أن يتم الإحساس بها . فمثلا لا يمكن الإحساس بسخونة الشرارة من الألعاب النارية على الرغم من درجة حرارتها العالية جداً وذلك لأن كتلتها الصغيرة تعنى أنها تحتوى على كمية قليلة من الحرارة . هذا المثال يوضح الفرق بين درجة الحرارة وكمية الحرارة .

2.2.2 أجهزة القياس

يعتبر العالم جاليليو أول من قام بعمل أجهزة لتبيان درجة الحرارة وكان ذلك قبل بداية عام 1600 وبحلول عام 1654 كان غران دوق توسكاني (فرديناند الثاني) قد اخترع الثيرموميتر المألوف ذا الأنبوبة الزجاجية المحكمة الإغلاق والتي تتصل من أسفل بمستودع يحتوى على سائل يتكون أساساً من خليط من الماء والكحول . ولم ينتشر استخدام الثيرموميترات الزئبقية إلا بحلول القرن الثامن عشر .

في عام 1756 اكتشف جوزيف بلاك من أسكتلندا أن الثلج لا تتغير درجة حرارته عند انصهاره وأن كل المواد تقريباً لها نفس الخاصية . وأن ثبات درجة الانصهار يعتمد على نقاء المادة . أجهزة قياس درجة الحرارة أيضا مهمة لدراسة حركة جزيئات المادة. الشكل 11.2 يوضح كيف تتغير درجة حرارة

واحد جرام من الماء المجمد عند إضافة حرارة إليه بمعدل 4.18 J/s (بفرض أنه لا يوجد فقد للحرارة إلي المحيط الخارجي) . وهو يشير إلى اكتشاف جوزيف بلاك أنه لا يحدث تغير في درجة الحرارة عند تغير طبيعة المادة من صلب إلي سائل أو من سائل إلي غاز .



شكل 11.2 تغير درجة حرارة الماء أثناء التسخين

1. الزمن (min) 2. درجة الحرارة (K) 3. غاز 4. سائل وغاز 5. سائل 6. صلب

قديماً استخدمت عدد من التدريجات المختلفة لدرجة الحرارة. وقد كان أقدمها تدريج ريومور (1731) حيث نقطة تجمد الماء على ذلك التدريج صفر بينما نقطة الغليان عند 80 . وقد صنع أول الثيرموميترات الدقيقة عام 1784 على يد فهرنهايت الذي حدد نقطة انصهار الثلج النقي بـ F 32 وعلى هذا التدريج تعتبر درجة الصفر هي أقل درجة حرارة يمكن الوصول إليها عن طريق خلط كل من الثلج والملح . والغرض من هذا هو أن جميع درجات الحرارة الأرصادية الطبيعية تكون موجبة . استخدمت درجة حرارة البخار F 212 كنقطة ثابتة عليا . ولا يزال استخدام التدريج الفهرنهايتي شائعا في عديد من البلدان بالرغم من أن التدريج السلزيوسي أو المئوي قد حل محله تدريجيا . وتقع نقطتا تجمد وغليان الماء على ذلك التدريج عند صفر و 100 على الترتيب .

الصفر المطلق هو درجة حرارة الجسم الذي لا يحتوى على أي طاقة حرارية . أي التي تتوقف فيها حركة جزيئات الجسم. ولا يمكن بالفعل الوصول إلي الصفر المطلق لدرجة الحرارة وفقا للقانون الثالث للديناميكا الحرارية.

العلاقة بين مقياس سلزيوس (C) ومقياس فهرنهايت (F) هي :-

C = (F - 32) /1.8

ودرجة الحرارة المطلقة كلفن (K) هي :-

K = C + 273

ودرجة الحرارة المطلقة رانكن (R) هي :-

R = F + 460

وتستعمل درجة الحرارة المطلقة خاصة في حسابات انتقال الحرارة بالإشعاع وفي قياس تغيرات حجم الغازات المثالية .

جدول 2.2 مقارنة بين مقاييس درجة الحرارة الأكثر استعمالا

	فهرنهايت F	رانكن R	سلزيوس C	كلفن K
درجة البخار	212	672	100	373
درجة الثلج	32	492	1	273
CO_2 الصلب	- 109	351	- 78	195
درجة الأكسجين	- 297	162	- 183	90
الصفر المطلق	- 460	0	- 273	0

3.2.2 طرق قياس درجة الحرارة

أ. القياس بالتمدد measurement by expansion

يستخدم تمدد الغازات أو السوائل كأساس لقياس درجة الحرارة . الثيرموميتر ربما يحتوى على كحول أو زئبق أو سائل آخر يتمدد عند التسخين وينكمش عند التبريد . يمكن أن يكون هذا التغير في الحجم مقياسا للتغير في درجة الحرارة . الشكل 12.2 هو مثال لهذا الثيرموميتر الزجاجي المعبأ بالزئبق .



شكل 12.2 الثيرموميتر الزجاجي
1. تدريج 2. أنبوبة شعرية 3. مستودع زئبق

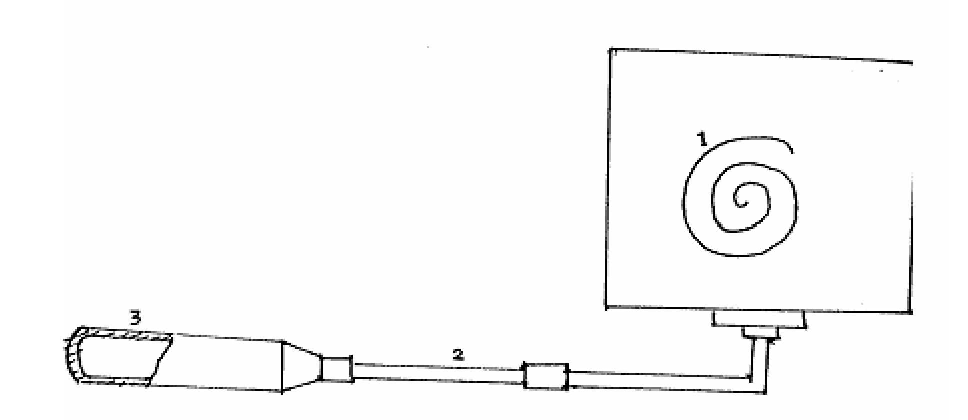
حيث يوجد السائل المستخدم في مستودع زجاجي تخرج منه أنبوبة ضيقة هي أنبوبة شعرية ذات مقطع منتظم . ويستخدم في هذا النوع من الثيرموميترات مستودع كبير وأنبوبة شعرية ضيقة ليتيسر ملاحظة التمدد في الأنبوبة الشعرية نظرا لضآلة مقدار التمدد في السوائل والذي يبلغ مقداره حوالي واحد إلى الألف من الحجم الأصلي للسائل لكل درجة مئوية بالنسبة للكحول . ويفرّغ الحيز الموجود فوق السائل في الأنبوبة الشعرية من الهواء لمنع تأثير تمدد هذا الهواء على قراءة الثيرموميتر . ويلاحظ أيضا أن الزجاج يتمدد إلا أن تمدده أقل بكثير من تمدد السائل وعلى ذلك يمكن إهماله . بالرغم من استخدام سائل الزئبق في غالبية الثيرموميترات الزجاجية إلا أنه يفضل أحيانا استخدام الكحول بديلا عن الزئبق في بعض أغراض علم الأرصاد الجوية إذ يمكن بفضل استخدام الكحول قياس درجات حرارة تصل إلى- 100 C (F 148-) وهى تقل كثيرا عن درجة تجمد الزئبق 37 C- (F 34.6-) .

على الرغم من أن هذا النوع من الأجهزة لا يستخدم في أجهزة التحكم اللاإرادي إلا أنها تستعمل كثيرا في التحكم اليدوي وفى المختبرات .

ب. القياس بالأجهزة المملوءة filled systems

يستخدم في هذه الأجهزة والتي تستخدم عادة في الصناعات الغذائية، أنبوب بوردون والذي يتحرك مع تمدد أو انكماش المادة المتلئ بها المستودع والذي يوضع في المنطقة المراد قياس درجة حرارتها (الشكل 13.2) . وقد صممت هذه الأجهزة لتعطي قراءة لدرجة الحرارة بعيدا عن موضع القياس.

يحتوى المستودع (عنصر القياس) على غاز أو سائل يتغير حجمه، ضغطه أو ضغط بخاره بتغير درجة الحرارة . ينقل هذا التغير إلى أنبوب بوردون عبر أنبوبة شعرية تتحرك بمقدار يتناسب مع درجة حرارة المستودع . يمكن أن تستخدم حركة أنبوب بوردون مباشرة أو تكبر بواسطة اتصال ميكانيكي (نظام تروس) لتحريك المؤشر على مقياس درجة الحرارة أو تحريك قلم على خريطة تسجيل درجة الحرارة .



شكل 13.2 أنبوب بوردون لقياس درجة الحرارة

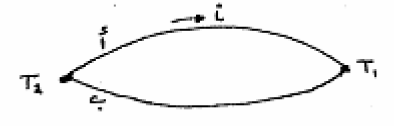
1. أنبوب بوردون 2. أنبوبة شعرية 3. مستودع

هذا النوع يستخدم كثيرا في الصناعة للأسباب الآتية :-

1. بساطة هذه الأجهزة أدت إلى سهولة تصنيعها
2. قلة احتمال الكسر حتى مع قليل من العناية
3. بساطتها أدت إلى سهولة استعمالها في أجهزة التحكم اللا إرادية
4. هذه الأجهزة كاملة بذاتها ولا تحتاج لأي مصدر للطاقة مثل الهواء المضغوط أو الكهرباء .

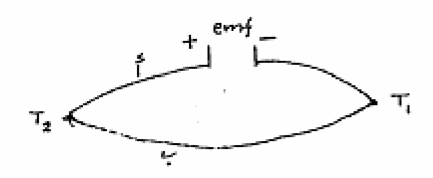
ج. المزدوجة الحرارية thermocouple

إذا وصل طرفا سلكين لمعدنين مختلفين أ و ب وكانت نقطتا اتصال السلكين في درجات حرارة مختلفة T1 و T2 فان تيارا كهربائيا i ينتج في هذه الدائرة المغلقة في الاتجاه المشار إليه كما في الشكل 14.2 إذا كانت T2 أكبر من T1 .



شكل 14.2 توصيل سلكين

ويعرف المعدن أ بأنه ذو كهربية موجبة بالنسبة لمعدن ب. قوة الدفع الكهربية (emf) كما في الشكل 15.2 هي مقياس لفرق الحرارة بين T2 و T1 .

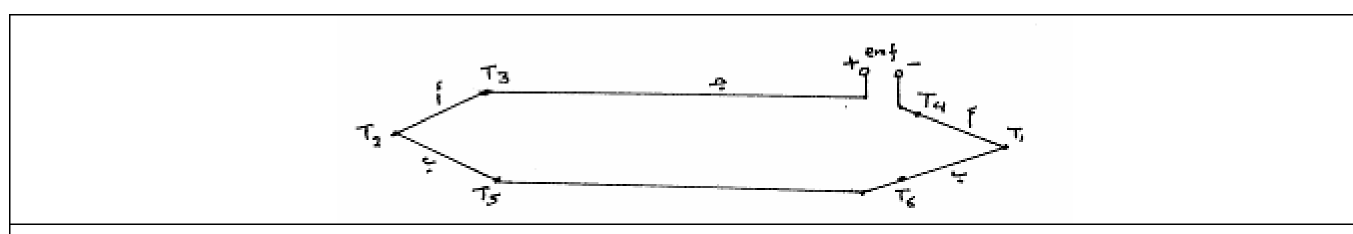


شكل 15.2 قوة الدفع الكهربائية في المزدوجة

عادة في أجهزة التحكم تكون نقطة الاتصال الباردة في جهاز القياس . يمكن أن تكون نقطة الاتصال الباردة في حمام ثلج أو فرن درجة حرارته ثابتة أو عند درجة حرارة الغرفة ولكن يجب تعويضها كهربائيا حتى يمكن اعتبارها ثابتة .

يمكن الحصول على حساسية أكبر لقياس درجة الحرارة باتصال المزدوجات الحرارية على التوالي بينما اتصالها على التوازي يمكن من الحصول على درجة الحرارة المتوسطة .

إذا كانت نقطة الاتصال الساخنة (نقطة القياس) في مكان بعيد من جهاز القياس فيمكن من ناحية اقتصادية لتقليل التكلفة استعمال أسلاك توصيل (ج ، د) من معادن رخيصة كما في الشكل 16.2 .



شكل 16.2 مزدوجة حرارية بها أسلاك توصيل

ولن يكون هناك تغير في قوة الدفع الكهربائية إذا كانت :-

$$T3 = T4 = T5 = T6$$

تقاس قوة الدفع الكهربائية بالميلي فولت (mV) بواسطة جهاز قياس فرق الجهد (potentiometer) وهى تتناسب مع الفرق بين نقطتي الاتصال في المزدوجة الحرارية .

يمكن مقارنة قراءات الميلي فولت بخرائط أو جداول لتحديد درجة الحرارة عند استعمال مواد مختلفة في المزدوجة الحرارية (جدول 3.2) .

تصنع المزدوجات الحرارية بواسطة لحام معدنين مختلفين. توصل المزدوجة الحرارية بأسلاك توصيل إلى جهاز قياس فرق الجهد . أسلاك التوصيل عادة من النحاس وأرخص من أسلاك المزدوجة نفسها . يعتمد استخدام المزدوجة على الآتي :-

أ. كلما قل قطر السلك كلما ازدادت حساسية المزدوجة لقياس درجة الحرارة

ب. يجب أن يتم اختيار المعدن على أساس مدى درجة الحرارة التي يراد قياسها
بالنسبة لدرجات الحرارة المنخفضة حتى 185 C (300 F-) يستخدم
copper -constantan
بالنسبة لدرجات الحرارة العادية يستخدم iron- constantan
بالنسبة لدرجات الحرارة حتى 1260 C (2300 F) يستخدم
Chromel- alumel
بالنسبة لدرجات الحرارة حتى 1482 C (2700 F) يستخدم
Platinum- rhodium

ج. تستخدم أسلاك النحاس عادة كأسلاك توصيل . لتقليل التكلفة من استعمال أسلاك النحاس يمكن استخدام سلكي نحاس كمشترك لتوصيل كل المزدوجات الحرارية إلى مقياس فرق الجهد على التوازي.

د. يجب أن يراعى تآكل المزدوجة الحرارية بتأثير المادة الغذائية.

جدول 3.2 قوة الدفع الكهربائية بالميلي فولت (نقطة الاتصال الباردة عند 0)

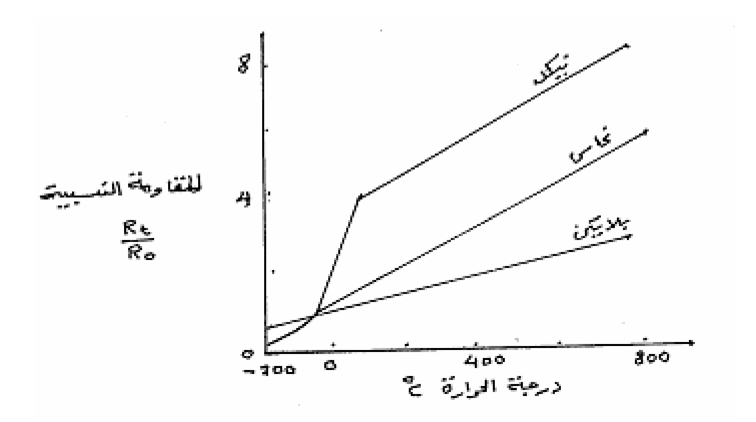
درجة الحرارة C (F)	chromel-alumel (mV)	Iron-constantan (mV)	copper-constantan (mV)
- 128.9 (- 200)	- 4.29	- 5.76	- 4.111
- 101.1 (- 150)	- 3.52	- 4.68	- 3.380
- 73.3 (- 100)	- 2.65	- 3.49	- 2.559
- 47.2 (- 50)	- 1.70	- 2.22	- 1.654
- 40 (- 40)	- 1.50	- 1.96	- 1.463
- 28.9 (- 20)	- 1.10	- 1.43	- 1.072

(0) 17.8 -	0.68 -	0.89 -	0.670 -
(20) 6.7 -	0.20 -	0.34 -	0.254 -
(40) 4.4	0.18	0.22	0.171
(60) 15.6	0.62	0.79	0.609
(80) 26.7	1.06	1.36	1.057
(100) 37.8	1.52	1.94	1.517
(120) 48.9	1.97	2.52	1.987
(140) 60	2.43	3.11	2.464
(160) 71.1	2.89	3.71	2.958
(180) 82.2	3.36	4.31	3.458
(200) 93.3	3.82	4.91	3.967
(220) 104.4	4.28	5.51	4.486
(240) 115.6	4.74	6.11	5.014
(260) 126.7	5.20	6.72	5.550
(280) 137.8	5.65	7.33	6.094
(300) 148.9	6.09	7.94	6.647
(350) 176.7	7.20	9.48	8.064
(400) 204.4	8.31	11.03	9.525
(450) 232.2	9.43	12.57	11.030
(500) 260	10.57	14.12	12.575
(600) 315.6	12.86	17.18	15.773
(700 371.1	15.18	20.26	19.100

و. يمكن استخدام توصيلات متوالية لعدد من المزدوجات الحرارية لقياس درجة الحرارة وذلك لزيادة قراءة فرق الجهد الناتجة. يمكن أن تستخدم التوصيلات الموازية للحصول على قراءة متوسطة.

د. ثيرموميترات المقاومة resistive thermometers

هذا النوع من الأجهزة يعتمد على الخواص الذاتية للمعادن في أن مقاومتها الكهربائية تتغير مع تغير درجة حرارتها (شكل 17.2)



شكل 17.2 تغير المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة لبعض المعادن

Rt =مقاومة المعدن عند درجة حرارة t

Ro =مقاومة المعدن عند درجة حرارة 0C

بالرغم من أن ثيرموميترات المقاومة تصنع عادة من البلاتين أو النحاس أو النيكل إلا أن بعض المواد شبه الموصلة مثل الثيرموسترات (thermisters) يمكن أن تستخدم .

ثيرموميتر المقاومة هو أساسا جهاز لقياس المقاومة بوحدات درجة الحرارة بدلا من وحدات المقاومة . تستخدم عدد من الدوائر الكهربائية لهذا الغرض ولكن أكثرها شيوعا هي Wheatstone bridge.

يستخدم الثيرموميتر البلاتيني بدقة بالغة لقياس درجة الحرارة في نطاق

260-وحتى 600 C وذلك لأن زيادة مقاومة البلاتين تفوق في انتظامها نظيراتها من المعادن مجتمعة بازدياد درجة الحرارة. كما أن للبلاتين مقاومة عالية للتآكل. وثمة ميزة أخرى يتفوق بها البلاتين إذ ينفرد

بدرجة انصهار عالية. ويتكون هذا النوع من الثيرموميترات من سلك رقيق من البلاتين وقد لف حول هيكل من المايكا (مادة عازلة) . وعند سريان تيار كهربائي خلاله تنشأ على الفور مقاومة يمكن قياسها مباشرة أو بقياس فرق الجهد الناشئ . وبوساطة صيغة رياضية محددة يمكن الحصول على درجة الحرارة المناظرة للمقاومة الناشئة .

هـ. البيروميترات pyrometers

تستخدم البيروميترات لقياس درجات الحرارة أكثر من 1300 C . ويتم قياس درجة حرارة الجسم بواسطة كمية ونوعية الطاقة المشعة من الجسم وهذا ما يعرف بالبيروميتر الإشعاعي radiation pyrometer وهو نوعان :-

1. البيروميترات الضوئية optical pyrometers

وهى الأجهزة التي تقيس لمعان الجسم الساخن مقارنة مع مصدر ذي لمعان قياسي . ويتألف البيروميتر الضوئي من أنبوبة طويلة قابلة للانضغاط تشتمل على سلك ساخن في البؤرة لكي يتواءم مع صورة الجسم الساخن الذي عادة ما يكون باطن فرن . وبالتحكم في شدة التيار بحيث لا يبدو أكثر إعتاما وأبرد من الفرن نفسه ولا أكثر نصوعا منه . وغالبا ما تتم معايرة البيروميترات بطريقة تتيح لجهاز قياس شدة التيار أن يعطي درجة الحرارة المناظرة مباشرة .

2. بيروميترات الإشعاع radiation pyrometers

وهى الأجهزة التي تقيس معدل انبعاث الطاقة على مدى كبير من طول الموجات أو التي تقارن بين الإشعاع على موجتين طوليتين مختلفتين .

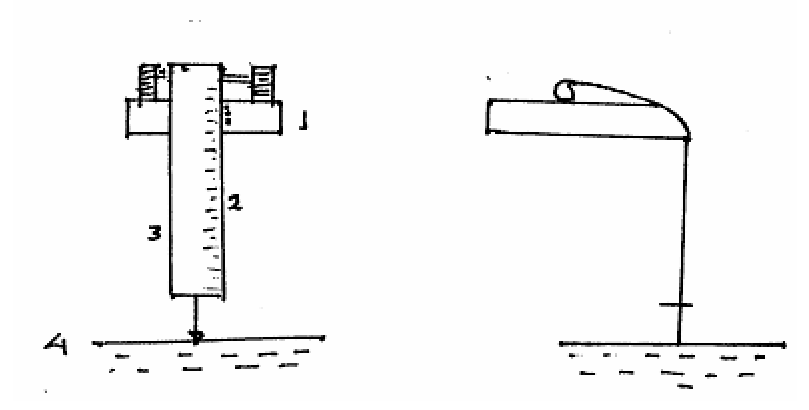
يجب أن يختار العنصر في هذه الأجهزة والذي يكون باتصال بالأغذية بعناية ويستعمل عادة الصلب الذي لا يصدأ والزجاج.

3.2 أجهزة قياس المستوى level measuring instruments

قياس المستوى يمكن تعريفه بأنه تحديد المكان الفاصل بين مائعين منفصلين . أكثر القياسات هو قياس المستوى بين السائل والغاز . ويمكن قياس مستوى السوائل بدقة إذا لم يكن هناك اضطراب في السائل . إذا كان هناك اضطراب يجب عمل حاجز لمنع هذا الاضطراب في منطقة القياس .
هناك عدة أشكال من أجهزة قياس المستوى منها :-

1.3.2 مقياس الشريط tape gauge

يقرأ مقياس الشريط المستوى الصحيح عندما يلامس طرف الشريط سطح السائل كما في الشكل 18.2 . أمكن تطوير مقياس الشريط بحيث تكتمل دائرة كهربائية عندما يلامس طرف الشريط سطح السائل وترسل إشارة كهربائية بذلك. وهذا يتطلب أن يكون السائل موصل للكهرباء ولهذا لا يمكن استعماله في حالة الزيوت.



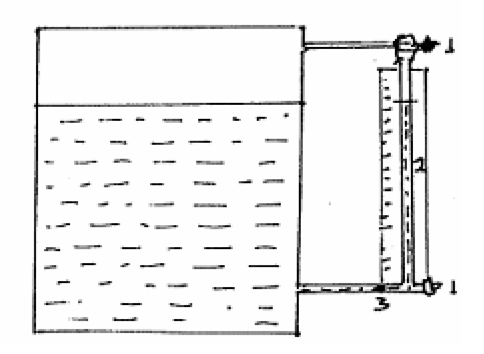
شكل 18,2 مقياس الشريط

1. ورنية 2. مقياس 3. شريط 4. سطح السائل

2.3.2 زجاجة بيان المستوى sight (gauge) glass

تستعمل لقياس مستوى السوائل حيث يتم توصيلها إلى صهاريج أو خزانات السوائل . يجب في حالة أن يكون الصهريج تحت ضغط أن يتصل الطرف العلوي للمقياس بالفراغ أعلى الصهريج وبهذا يرتفع السائل في المقياس إلى نفس مستواه داخل الصهريج . لتفادي الأخطاء نتيجة لخاصية الجاذبية الشعرية يجب ألا يقل القطر الداخلي لزجاجة بيان المستوى عن 1.27 cm (0.5 in) . أغلب الأجهزة مزودة بصمامات

قفل لغرض تنظيفها وتغييرها دون إفراغ الصهريج وكذلك بصمامات عدم رجوع لمنع فقدان السائل في حالة تكسر زجاج المقياس. هنالك عدة أشكال منها ما هو موضح في الشكل 19.2 .

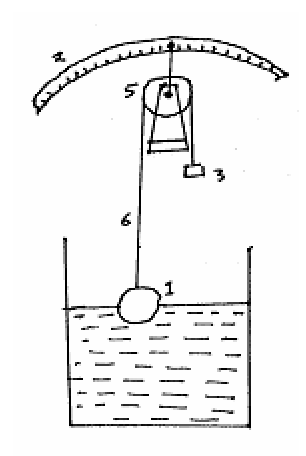


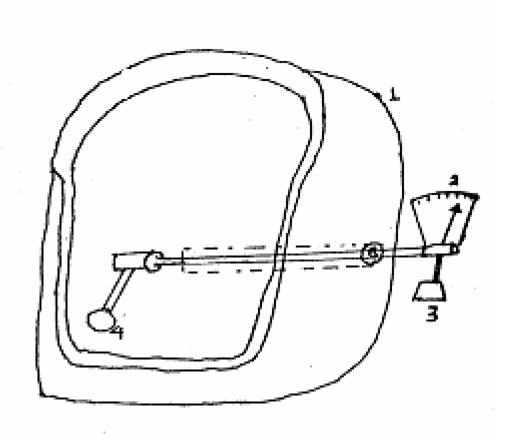
شكل 19.2 زجاجة بيان المستوى

1. صمام قفل 2. زجاجة بيان المستوى 3. صمام عدم رجوع

3.3.2 مقياس العوامة float

هنالك عدة أنواع أيضا من هذه الأجهزة مثال لذلك مقياس العوامة والشريط والبكرة (شكل 20.2) الذي يقيس التغيرات الكبيرة في مستوى السائل بدقة . وهي تمتاز بأن مقياس القراءة يمكن أن يوضع في مكان مناسب من الصهريج .





شكل 20.2 مقياس العوامة والشريط والبكرة

شكل 21.2 مقياس العوامة والرافعة (داخل الصهريج)

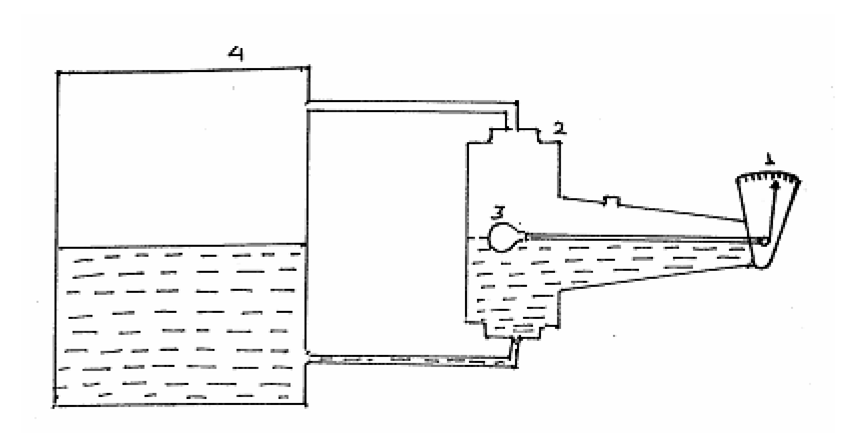
1. صهريج 2. مقياس 3. وزن 4. عوامة 5. بكرة 6. شريط

يمكن أن يستخدم مقياس العوامة والرافعة بكفاءة في حالة الصهاريج المغلقة والتي تحت ضغط وعندما يكون السائل لزجا. وهو نوعان:- النوع الذي يوضع مباشرة داخل الصهريج (شكل 21.2) والآخر يوضع خارج الصهريج (شكل 22.2) .

4.3.2 مقياس الضغط الهيدروستاتي hydrostatic pressure

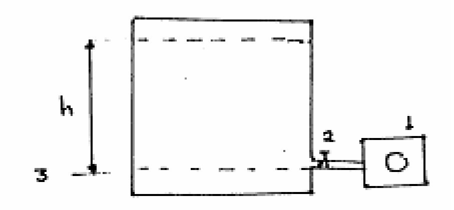
يمكن أن يستخدم الضغط الهيدروستاتي لقياس مستوى السوائل . فضغط عمود السائل يتغير طرديا مع كثافته وارتفاعه $P = h\rho g$

. ولهذا تعتمد هذه الطريقة على أن تكون كثافة السائل ثابتة . هذا المقياس (شكل 23.2) يمكن استعماله بكفاءة في حالة التغيرات الكبيرة في مستوى الصهاريج المفتوحة .



شكل 22.2 مقياس العوامة والرافعة (خارج الصهريج)

1. مقياس 2. غرفة العوامة 3. عوامة 4. صهريج

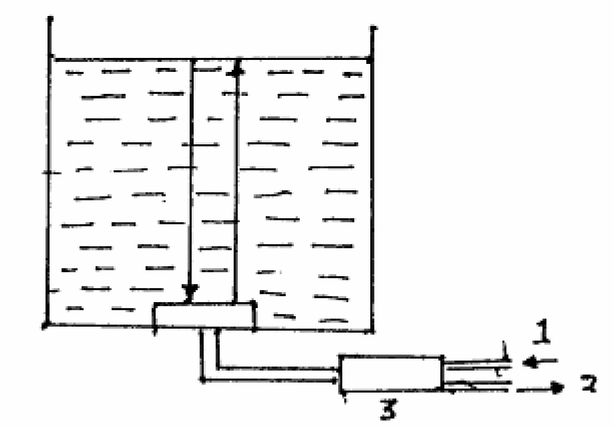


شكل 23.2 مقياس الضغط الهيدروستاتي

1. مقياس الضغط 2. صمام 3. المستوى الأدنى

5.3.2 مقياس المستوى الصوتي sonic level detector

يعتمد هذا المقياس (شكل 24.2) على قياس فرق الزمن بين إرسال موجة صوتية وانعكاسها من سطح السائل. تولد الموجة الصوتية إلكترونيا والزمن بين إرسالها واستقبالها يقاس بدقة متناهية بواسطة طرق إلكترونية. إذا علمت سرعة الصوت في السائل فان مستوى السائل يمكن حسابه.



شكل 24.2 مقياس المستوى الصوتي

1. مصدر كهربائي 2. إلى جهاز التسجيل 3. جهاز إرسال واستقبال

أسس هندسة تصنيع غذائي

اتزان المادة والطاقة

الوحدة الثالثة : اتزان المادة والطاقة .

الجدارة: القيام باتزان المادة واتزان الطاقة حول أنظمة التصنيع الغذائي

الأهداف: أن يعرف المتدرب كيفية اتزان المادة واتزان الطاقة حول أنظمة التصنيع الغذائي

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: 4 ساعات

الوسائل المساعدة:- أجهزة التصنيع الغذائي.

- بعض الأشكال المتعلقة بالموضوع.
- تطبيق بعض التمارين.

اتزان المادة واتزان الطاقة

Material and energy balance

يساعد اتزان المادة واتزان الطاقة كثيرا في حساب كثير من المسائل المتعلقة بهندسة تصنيع الأغذية. يعتمد اتزان المادة واتزان الطاقة أساسا على قوانين بقاء المادة والطاقة . قانون بقاء المادة والطاقة يقول إن أي كمية من المادة أو الطاقة تدخل في منظوم ما بحالة منتظمة ، يجب أن تخرج من المنظوم. المنظوم system هو أي شئ يمكن أن يعرف بحدود معينة. انتظام الحالة steady state يشير إلى حقيقة أنه لا تراكم للمادة أو الطاقة في المنظوم بالرغم من أن المنظوم في حالة عمل مستمر . استخدام قانون بقاء المادة وقانون بقاء الطاقة لحل المسائل يعرف باتزان المادة واتزان الطاقة .

1.3 اتزان المادة

بإجراء اتزان للمادة يمكن الحصول على معلومات عن كميات و تراكيز بعض المواد التي يصعب قياسها . كذلك بإجراء اتزان للمادة ومعرفة كمية المواد المختلفة يمكن تحديد أحجام وحدات التصنيع المختلفة .

قانون بقاء المادة هو:-

كتلة المادة الخارجة من المنظوم ناقصا كتلة المادة الداخلة للمنظوم تساوي كتلة المادة المتراكمة في المنظوم.

وعندما يكون المنظوم في حالة اتزان ، أي عندما لا يكون هناك تراكم للمادة في المنظوم ، فان كتلة المادة الخارجة من المنظوم تساوي كتلة المادة الداخلة للمنظوم .

اتزان المادة يمكن إجراؤه كاتزان كلي على كتل المواد الداخلة والخارجة أو كاتزان على عنصر من مكونات المواد الداخلة والخارجة. كما ويمكن إجراؤه على وحدة واحدة أو مجموعة من وحدات التصنيع.

لإجراء اتزان للمادة هناك عدة خطوات أولية يجب إجراؤها وهى مفيدة ومرغوبة وهى :-

1. اختيار المنظوم. ويتم بتحديد حدود للمنظوم. وكل ما هو خارج الحدود يعتبر خارج المنظوم. وخطوط المواد التي تقطع حدود المنظوم إما داخلة فيه أو خارجة منه هي التي تدخل في حسابات اتزان المادة.
2. كتابة كل المعلومات المعطاة على الرسم باستخدام وحدات قياس متناسقة .
3. اختيار الأساس المناسب .

اختيار الأساس المناسب يعتمد على طريقة التصنيع التي يمكن أن تكون على دفعات batch process حيث تضاف المواد أولا إلى وحدة التصنيع ويخرج الناتج بعد انتهاء التحول المرغوب. في هذه

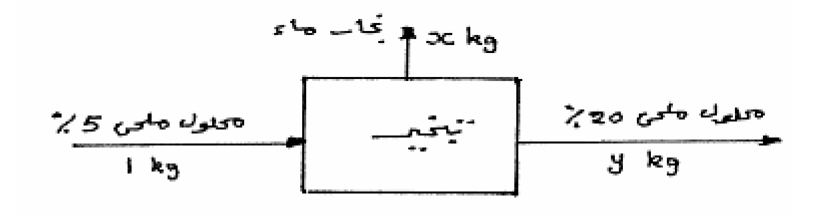
الحالة يمكن أن يكون الأساس كتلة المادة أو كتلة عنصر منها والتي تدخل أو تخرج من المنظوم. أو تكون عملية التصنيع من نوع التصنيع المستمر continuous process حيث يكون دخول المواد وخروج الناتج باستمرار . وفى هذه الحالة يجب أن يدخل عامل الزمن في اتزان المادة .

الأمثلة التالية توضح كيفية اتزان المادة:-

مثال 1.3

كم هي كمية الماء المتبخرة من محلول ملحي تركيزه 5% لتكوين محلول تركيزه 20% ؟

يمكن توضيح منظوم وحدة تركيز الملح كما في الشكل 1.3



شكل 1.3 وحدة تركيز الملح

نفرض أن الأساس 1 kg من محلول الملح تركيز 5% يدخل المنظوم .

باتزان المادة حول المنظوم نحصل على :

$$1 = x + y \qquad (1)$$

باتزان عنصر الملح حول المنظوم نحصل على :

$$0.05(1) = 0 + 0.2(y) \qquad (2)$$

أذن

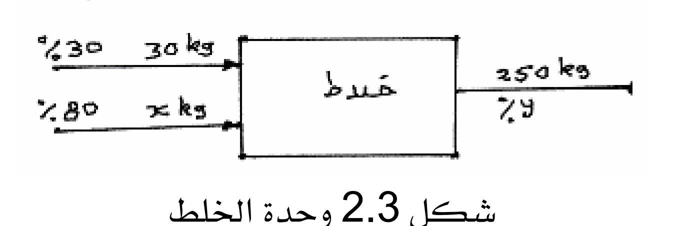
$$y = 0.25 \text{ kg}$$

$$X = 0.75 \text{ kg}$$

إذن يجب تبخير 0.75 kg من الماء لكل 1 kg من محلول الملح تركيز 5% .

مثال 2.3

عند تطوير منتج غذائي جديد خلطت 30 kg من إحدى المواد التي تحتوى على 30% مواد صلبة مع كمية غير معروفة من مادة أخرى تحتوى على 80% مواد صلبة للحصول على 250 kg من الناتج . أحسب كمية المادة التي تحتوى على 80% مواد صلبة . وما هو تركيز الناتج الجديد ؟



شكل 2.3 وحدة الخلط

باتزان المادة الكلي $30 + x = 250$

$$x = 220$$

إذن كمية المادة التي تحتوى على 80% مواد صلبة تساوي 220 kg

باتزان المواد الصلبة حول المنظوم نجد أن :

$$250(y/100) = 220(0.8) + 30(0.3)$$

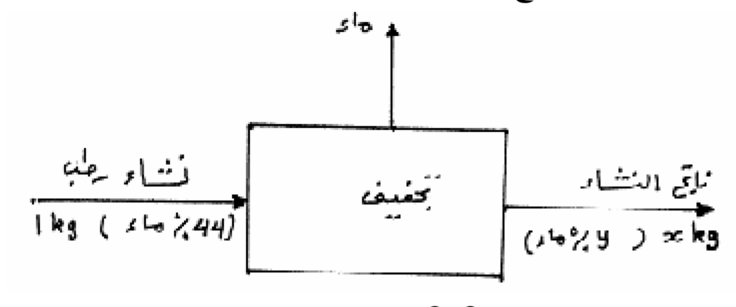
$$y = 74$$

إذن تركيز الناتج 74% مواد صلبة مذابة

مثال 3.3

إحدى المواد الناتجة من طحن القمح هو النشا . في خطوات التصنيع النهائية يحتوى النشا على 44% ماء . بعد التجفيف وجد أن 73% من الماء أمكن التخلص منه من النشا . أحسب :-

1. كمية الماء التي تم التخلص منها لكل 1 kg من النشا الرطب
2. نسبة مواد تركيب النشا الناتج



شكل 3.3 وحدة تجفيف النشا

الأساس 1 kg من النشا الرطب .

كمية الماء في النشا الرطب = 0.44 kg

1. كمية الماء التي تم التخلص منها = (0.73) 0.44 = 0.32 kg

2. اتزان المادة حول المنظوم يعطي :

$$1 = 0.32 + x$$

إذن كمية النشا الناتج = 0.68 kg

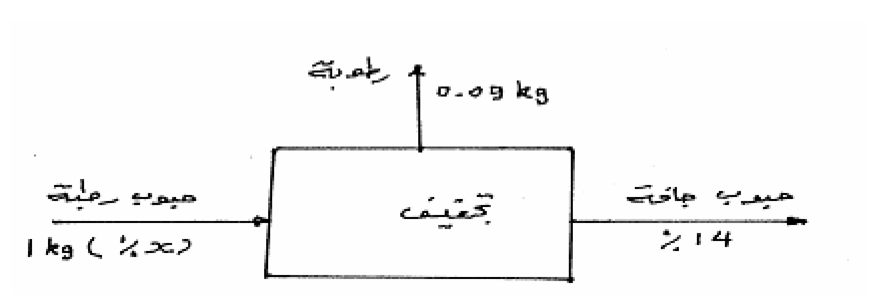
اتزان الماء حول المنظوم يعطي :

$$0.44(1) = 0.32 + (y/100)0.68$$

إذن كمية الماء في النشا الناتج = 17.6%

مثال 4.3

حبوب قمح رطبة تم تجفيفها جزئيا وكانت الرطوبة التي تم التخلص منها تساوى 9% من كتلة الحبوب. تم اختبار الحبوب بعد التجفيف ووجد أنها تحتوى على 14% رطوبة . أحسب محتوى الرطوبة كنسبة مئوية من حبوب القمح قبل التجفيف



شكل 4.3 وحدة تجفيف حبوب القمح

الأساس 1kg من الحبوب الرطبة .

إذن الرطوبة التي تم التخلص منها = 0.09 kg

إذن الحبوب الجافة الناتجة = 0.91 kg

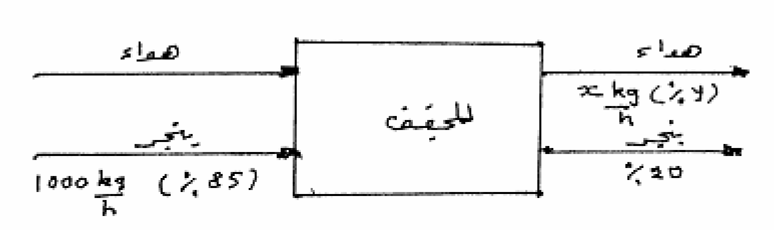
باتزان المادة حول المنظوم نجد أن :

$$(x/100)\ 1 = 0.09 + 0.14\ (0.91)$$

x = محتوى الرطوبة في الحبوب قبل التجفيف = 21.74%

مثال 5.3

تم تجفيف 1000 kg/h من البنجر المقطع في مجفف الهواء الساخن ذي التدفق المتوازي من محتوى رطوبة 85% إلى محتوى رطوبة 20%. يدخل الهواء إلى المجفف بمحتوى رطوبة 0.013 kg ماء لكل 1 kg هواء جاف وبمعدل 400 kg هواء جاف لكل 1 kg مادة صلبة جافة. أحسب محتوى الماء في الهواء الذي يخرج من المجفف



شكل 5.3 وحدة تجفيف البنجر

الأساس 1000 kg/h من البنجر المقطع .

إذن كمية المادة الصلبة الجافة التي تدخل إلى المجفف = (1000) 0.15 = 150 kg/h

كمية الهواء التي تدخل إلى المجفف = (400) 150 = 60000 kg/h

كمية الماء التي تدخل مع الهواء إلى المجفف = (0.013) 60000 = 780 kg./h

كمية الهواء الرطب الداخل = 60780 kg/h

كمية الماء في البنجر الخارج = 150 (0.2/0.8) = 37.5 kg/h

كمية البنجر الخارج = 187.5 kg/h

باتزان المادة الكلي حول المبخر نجد أن :

$$1000 + 60780 = 187.5 + x$$

إذن x = كمية الهواء الخارج = 61592.5 kg/h

باتزان الرطوبة حول المبخر نجد أن :

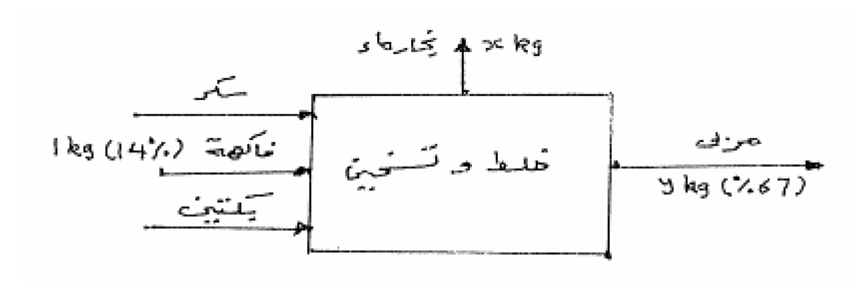
$$0.85\ (1000) + 780 = 37.5 + (y/100)\ 61592.5$$

إذن y = محتوى الماء للهواء الذي يخرج من المجفف = 2.6%

= 0.0265 kg ماء لكل 1 kg هواء جاف .

مثال 6.3

في صناعة المربى تخلط الفاكهة المقطعة مع كمية من السكر لإعطاء خليط يتكون من 45% فاكهة و 55% سكر وتضاف كمية كافية من البكتين (تقريبا 115 g لكل 100 kg سكر) . يسخن الخليط إلى محتوى مواد صلبة يعادل 67% . أحسب كمية المربى التي يمكن الحصول عليها من فاكهة تحتوى على 14% مواد صلبة مذابة



شكل 6.3 وحدة تصنيع المربى

الأساس 1 kg من الفاكهة تدخل المنظوم .

إذا كانت كمية الفاكهة 1 kg فإن كمية السكر = 1 (55/45) = 1.22 kg

إذن كمية البكتين = (100/1.22) 0.115 = 0.0014 kg ويمكن تجاهلها لصغرها .

اتزان المادة الكلى $1 + 1.22 = x + y$

اتزان المواد الصلبة $1\ (0.14) + 1.22 = 0 + y\ (0.67)$

y = كمية المربى التي يمكن الحصول عليها لكل 1 kg فاكهة = 2.03 kg

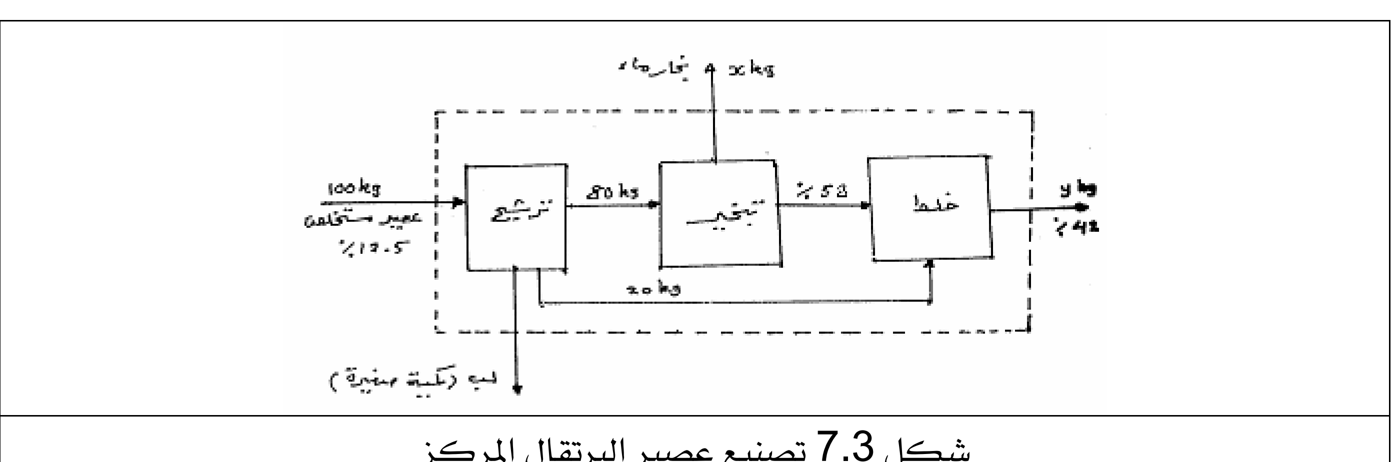
x = كمية الماء المبخر = 0.19 kg لكل 1 kg فاكهة .

مثال 7.3

كانت المشكلة الأساسية في الماضي عند تصنيع عصير البرتقال المركز هي نكهة الفاكهة الضعيفة الناتجة من تبخر النكهة أثناء التبخير. ولكن أمكن الآن تفاديها وذلك بتركيز عصير الفاكهة المستخلص إلى 58% مواد صلبة في مبخرات تفريغ وخلط الناتج المركز مع عصير غير مركز للحصول على عصير ذي تركيز 42% مواد صلبة . تتم خطوات التصنيع كالآتي :-

يمرر العصير المستخلص الذي يحتوى على 12.5% مواد صلبة على جهاز ترشيح لفصل كمية قليلة من لب الفاكهة و يمكن تجاهلها. يمرر 80% من هذا العصير إلى أجهزة التبخير وتستخدم 20% منه لتخفيف العصير المركز إلى التركيز النهائي . أحسب :-

1. كمية الماء المبخر لكل 100 kg من العصير المستخلص .
2. تركيز المواد الصلبة في كل من المواد التي تخرج من وحدة الترشيح .
3. نسبة العصير المركز إلى العصير غير المركز في الناتج النهائي .



شكل 7.3 تصنيع عصير البرتقال المركز

1. اتزان المواد الكلى حول المنظوم الذي يحتوى على كل وحدات التصنيع يعطي :

$$100 = x + y$$

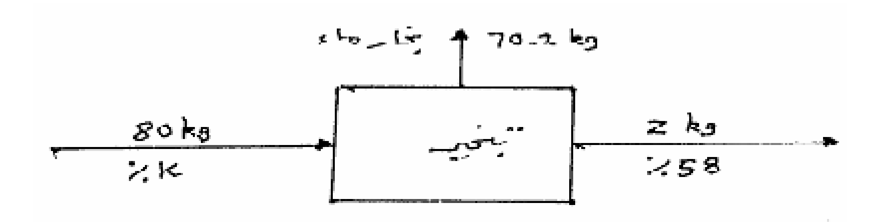
اتزان المواد الصلبة المذابة يعطي :

$$100\ (0.125) = 0 + y\ (0.42)$$

y = كمية العصير الناتج = 29.8 kg

x = كمية الماء المبخر = 70.2 kg

2. لتحديد تركيز المواد الخارجة من وحدة الترشيح يجب أولا تحديد كمية المواد الخارجة من وحدة التبخير. ولهذا يختار منظوم حول وحدة التبخير.



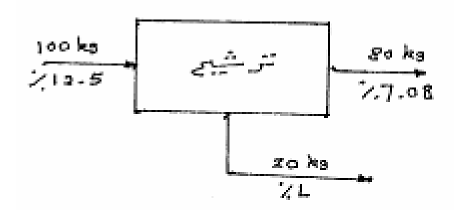
اتزان المادة الكلى $80 = 70 + z$

z = كمية العصير الخارج من المبخر = 9.8 kg

اتزان المواد الصلبة $80\ (k/100) = 0 + z\ (0.58)$

إذن تركيز المواد الصلبة في العصير الخارج من وحدة الترشيح إلى المبخر = k = 7.08%

لتحديد تركيز الـ 20 kg الخارجة من وحدة الترشيح يتم اختيار منظوم حول وحدة الترشيح .



باتزان المادة الصلبة $100\ (0.125) = 80\ (0.0708) + 20\ (L/100)$

L = تركيز العصير الخارج من وحدة الترشيح إلى الخلاط = 34.2%

3. نسبة العصير المركز إلى العصير غير المركز = 9.8/20 = 1:0.49

2.3 اتزان الطاقة

الطاقة هي قدرة منظوم ما لأداء شغل على منظوم آخر . وهى يمكن أن ترتبط بجسم مادي مثل النابض أو تكون مستقلة عن المادة كما في حالة الضوء أو أي إشعاع كهرومغنطيسي خلال فراغ .

1.2.3 صور الطاقة

كل أنواع الطاقة مرتبطة بالحركة فمثلا الجسم له طاقة حركية kinetic energy إذا كان متحركا . والجسم الموضوع أو النابض المشدود بالرغم من أنها ثابتة ولكن لها القدرة على خلق حركة . ولهذا لها طاقة موضع potential energy نتيجة لوضعها أو هيئتها . الطاقة الحرارية thermal energy هي نتيجة لحركة جزيئات المادة. فمثلا حرارة غاز الهيليوم تتناسب طرديا مع سرعة جزيئاته التي تتحرك

بصورة عشوائية . الطاقة الكهربائية electrical energy هي نتاج تيار كهربائي ينتج من سريان الإلكترونات خلال موصل كهربائي . الطاقة الكيميائية chemical energy والطاقة الذرية atomic energy هي نتيجة لتركيبة ووضع الذرات في جزيئات المادة أو وضع بعض مكونات الذرة في النواة . ولهذا تقاس الطاقة بتحديد كمية الشغل المطلوب لخلق الحركة ، الوضع أو الهيئة .

يمكن أن تتغير صور الطاقة ولكن كمية الطاقة الكلية بالنسبة لمنظوم معزول تبقى ثابتة . ولهذا لا يمكن خلق أو تدمير الطاقة. فالطاقة الموجودة مثلا في الوقود والهواء الذي يحترق في ماكينة ما لا بد أن يتساوى مع الشغل المبذول الذي تقوم به الماكينة. هذا هو مبدأ قانون بقاء الطاقة . ومع ذلك فقد اكتشف آينشتاين إمكانية تحويل الكتلة إلى طاقة والعكس صحيح وفقا لمعادلته الشهيرة $E = mC^2$

حيث C = سرعة الضوء. وأصبح مبدأ بقاء الطاقة لا ينطبق إلا على الأجسام التي لا يحدث تغير في كتلتها.

نظريا يمكن أن تحول كل أشكال الطاقة كليا إلى شغل أو صور أخرى من الطاقة. هذا صحيح بالنسبة للطاقة الميكانيكية والكهربائية . ولكن التحرك العشوائي لجزيئات مادة والذي يرتبط بطاقتها الحرارية يمثل طاقة ليست متوفرة كليا لتحويلها إلى طاقة مباشرة . ودورة كارنوت هي دورة طاقة نظرية لتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بأقصى كفاءة . وهذه الكفاءة يحددها مستوى درجة الحرارة التي تضاف فيها الطاقة الحرارية والتي تخرج فيها الطاقة المهملة من الدورة . وبالنسبة لنظرية النسبية لاينشتاين فان كتلة الجسم الظاهرية تزداد طرديا مع طاقته الحركية . ولهذا فان الطاقة والكتلة اعتبرتا متكافئتان ويمكن تحويل إحداهما إلى الأخرى , وهو ما أثبت بالأبحاث التي تمت على نواة الذرة حيث تؤثر طاقتها على كتلتها بمدى يمكن قياسه . ولكن في التفاعلات الكيميائية فان التغير في الكتلة مع الطاقة لا يمكن قياسه . وفى انشطار نواة الذرة فان الانخفاض صغير جدا بالنسبة لكمية الطاقة الناتجة .

يمكن تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى بعدة طرق فمثلا يمكن الحصول على طاقة ميكانيكية أو كهربائية بواسطة الماكينات الحرارية لحرق الوقود وبواسطة المولدات الكهربائية أو البطاريات أو الخلايا الكهروضوئية أو غيرها .

2.2.3 مصادر الطاقة

وهى المصادر التي يمكن الحصول منها على طاقة حرارية أو ضوئية أو قدرة . تطورت مصادر الطاقة من قدرة الإنسان والحيوان إلى طاقة الوقود من البقايا المتحجرة ، اليورانيوم ، المياه ، الرياح والشمس . البقايا المتحجرة هي أساسا الفحم الحجري أو النباتي ، البترول ، الغاز الطبيعي ، طفل الزيت وغيرها . تشمل مصادر الطاقة من غير الوقود ، الماء ، الرياح، حرارة باطن الأرض geothermal، الكتلة الحيوية biomass والحرارة الشمسية. ونسبة لأن البقايا المتحجرة تنفد باستمرار تبقى مصادر الطاقة الأخرى ذات أهمية كبرى لأنها متجددة. الطاقة الذرية التي يمكن الحصول عليها بانشطار اليورانيوم ، الثوريوم ، والبلوتونيوم وطاقة الانصهار المعتمدة على الجمع بالقوة لنواتي ذرتين من الديوتريوم ، التريتيم أو الهليوم- 3 يمكن أن تكون المصادر الأساسية للطاقة في القرن الحادي والعشرين .

3.2.3 مصادر الطاقة الأولية

1. الانصهار إلي nuclear fusion

الطاقة الناتجة من الشمس بواسطة التفاعلات الذرية الحرارية والتي تصهر الهيدروجين والعناصر الأخرى الخفيفة وتحولها إلى عناصر ثقيلة وتطلق كميات هائلة من الطاقة هي مصدر الطاقة الإشعاعية من الشمس. كما وإن الرياح تنتج بواسطة التأثيرات الحرارية من الطاقة الشمسية وحتى الطاقة في المياه الجارية تنتج بطريقة غير مباشرة من الإشعاع الشمسي. سيأتي اليوم الذي يتم فيه استنفاد الوقود لإنتاج صور الطاقة الأخرى ويكون الاعتماد على التفاعلات الذرية الحرارية لإنتاج الطاقة. على الرغم من أن كميات كبيرة من الطاقة يمكن إنتاجها من انشطار نواة الذرة ولكنها ضئيلة بالمقارنة مع إمكانية إنتاج كمية غير محدودة من انصهار نواة الذرة . وإذا حلت مشكلة إيجاد مولد للطاقة بالتحكم في انصهار النواة فان الديوتيريم (الهيدروجين الثقيل) متوفر في المياه بكميات كبيرة .

2. الانشطار الذري nuclear fission

الطاقة الناتجة من انشطار ذرة واحدة من اليورانيوم مثلا ، هي عدة ملايين من المرات أكبر من الطاقة الناتجة من احتراق جزيء واحد من الجازولين . الطاقة الناتجة من الانشطار الذري هي في صورة إشعاعات وطاقة حركية للأجزاء المنتشرة التي تطلق بسرعة عالية .

تتحول معظم هذه الطاقة إلى طاقة حرارية عندما تصل هذه الأجزاء إلى حالة سكون وعندما تمتص هذه الإشعاعات .0.72% فقط من اليورانيوم الطبيعي هو اليورانيوم - 235 وهو النظير الذي

يمكن انشطاره . ولكن أمكن تطوير مفاعلات لإنتاج البلوتونيوم - 239 القابل للانشطار من اليورانيوم - 238 وأيضا أمكن إنتاج اليورانيوم - 233 القابل للانشطار من الثوريوم غير القابل للانشطار . هذه النظائر المشعة التي توجد طبيعيا في الأرض وتشع باستمرار وفى نفس الوقت تتدهور طاقتها الإشعاعية هي مصدر الحرارة المرتفعة في باطن الأرض .

3. الطاقة الشمسية solar energy

الطاقة الشمسية خارج غلاف الأرض الجوي تعادل 1.4 كيلو واط لكل متر مربع . والطاقة الشمسية التي تصل غلاف الأرض الجوى سنويا تعادل 5000 Q $(1Q = 10^{18}\,Btu)$

. أكثر من نصف هذه الطاقة يصل سطح الأرض حيث 900 Q تمتصها الأرض كل عام والباقي يمتصه الماء . كمية الطاقة الشمسية التي تمتصها النباتات في عملية التمثيل الضوئي كل عام تعادل 0.15 Q . والطاقة الموجودة في مجاري المياه حوالي 0.17 Q كل عام وفقط 2٪ منها مستغل الآن . والطاقة في الرياح حوالي 90 Q سنويا ولكن الجزء المستغل في الطواحين الهوائية ضئيل جدا .

هنالك محاولات عديدة لاستخدام الطاقة الشمسية لإدارة الماكينات فى الطبخ وفى التسخين . واستخدمت المركزات الشمسية مثل المرايا المقعرة الموجهة نحو الشمس لإنتاج الطاقة ولكن تكلفتها جعل توليد الطاقة غير اقتصادي إذا كانت البدائل الأخرى متوفرة .

4.2.3 مصادر الطاقة المستهلكة expendable energy sources

الوقود المتحجر (fossil fuels) مثل الفحم ، البترول ، والغاز الطبيعي هي مصادر طبيعية للطاقة ولكن استهلاكها يتم بمعدلات عالية . وعلى الرغم من الاكتشافات الكبيرة التي تتم إلا أن مخزونها داخل الأرض محدود والكميات التي يمكن استخلاصها بطريقة اقتصادية تعتمد على قيمتها المستقبلية وتكاليف الاستخراج .

على الرغم من أن كميات الوقود التي يمكن استخراجها ستزيد مع تطور طرق الاستخلاص من المناجم ولكن سيأتي الوقت الذي يمول اليورانيوم والثوريوم معظم احتياجات العالم من الطاقة . وفى النهاية إذا حلت المشكلة التقنية للتحكم في الانصهار الذري ، سيكون هناك مصدر للطاقة لا حدود له .

5.2.3 قانون بقاء الطاقة

قانون بقاء الطاقة يقول أنه إذا عرف منظوم ما بحدود معينة وعزل بحيث لا تدخله أو تخرج منه أي طاقة فان طاقة المنظوم تبقى ثابتة بالرغم من التغيرات التي تحدث داخله .

القانون الأول للديناميكا الحرارية هو تعبير كمي لنظرية بقاء الطاقة. يمكن أن تقسم كمية الطاقة في الديناميكا الحرارية إلى قسمين:-

1. تلك التي ترتبط بحالة المنظوم وهى بهذا خواص له .
2. تلك التي تحتوى الطاقة في صورة مرحلية transit form .

المجموعة (1) تحتوى على :-

أ. الطاقة الخارجية : وهى صور الطاقة التي يحتويها المنظوم بحكم سرعته أو موقعه مثل الطاقة الحركية أو طاقة الموضع .

ب. الطاقة الذاتية : وهى الطاقة التي ترتبط بالتركيب الذري والجزيئي للمادة وهى تشمل الطاقة الذرية وهى الطاقة التي تربط جسيمات النواة . والطاقة الكيميائية وهى التي تربط الذرات في جزيء المادة والطاقة الحرارية وهى ترتبط بدوران أو تذبذب الإلكترونات في الجزيئات وهى تتناسب مع الحرارة والطاقة الجزيئية وهى ترتبط بقوى الجذب أو الطرد بين الجزيئات . فمثلا الحرارة الكامنة للتبخر تشمل الفرق في الطاقة الجزيئية بين السائل والغاز .

أما المجموعة (2) فتشمل الحرارة heat والشغل work وهى الطاقة التي تعبر حدود المنظوم وذلك نتيجة للفرق في الخواص بين المنظوم والمحيط . وكل أنواع الطاقة المرحلية يمكن أن تعتبر إما حرارة أو شغل . والحرارة والشغل لا يمكن أن يكونا خاصية من خواص المنظوم ويظهر كتغير فقط في طاقة المنظوم والمحيط .

الحرارة هي الطاقة التي تعبر حدود المنظوم نتيجة للتغير في درجة الحرارة بين المنظوم والمحيط . وتعارف على أن تكون موجبة إذا كانت الحرارة داخلة للمنظوم وسالبة إذا كانت خارجة منه . وفى بعض الحالات يمكن تحديد كمية الحرارة Q المنتقلة بمعرفة التغير في خواص المنظوم ومعرفة الحرارة النوعية والحرارة الكامنة . إذا سخنت مادة ما دون تغير في طبيعتها من درجة حرارة T1 إلى درجة حرارة T2 فيمكن كتابة :

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C dT$$

وإذا كانت الحرارة النوعية C ثابتة فان :

$$Q = C(T_2 - T_1) = C\Delta T$$

وإذا كان الضغط ثابتا فان :

$$Q = C_p \Delta T$$

أما الشغل (W) فهو أي طاقة تعبر حدود المنظوم نتيجة لأي عامل آخر غير الفرق في درجة الحرارة . وهو عبارة عن حاصل ضرب القوة في المسافة التي تحركتها . وأيضا تعارف على اعتبار الشغل بواسطة المنظوم موجبا والشغل على المنظوم سالبا .

وبالنسبة لمنظوم مغلق فان الطاقة الصافية المضافة إلى منظوم تساوي الزيادة في طاقة المنظوم والتغير في طاقة المنظوم يعادل التغير في الطاقة الذاتية (U) والحركية (KE) وطاقة الموضع (PE) .

أي :-

$$Q - W = \Delta U + \Delta(KE) + \Delta(PE) ....(1)$$

والشغل W هو حاصل جمع الشغل نتيجة للتغير في الحجم ونتيجة للتغير في السرعة ونتيجة لتغير الموضع حيث:-

$$W = \int PdV - \Delta(KE) - \Delta(PE) ....(2)$$

وبالتعويض في المعادلة (1) نحصل على:-

$$Q - \int PdV = \Delta U ......(3)$$

وفى حالة بقاء حجم المنظوم ثابتا مثلا في حالة تسخين مادة في وعاء مغلق وصلب فان المعادلة (3) تصبح:-

$$Q = \Delta U ....(4)$$

ولكن بما أن:

$$-\int PdV = \int VdP - \Delta(PV)$$

فان المعادلة (3) يمكن كتابتها كالآتي :-

$$Q + \int VdP = \Delta U + \Delta(PV)$$
$$= (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

وحاصل الجمع (U+PV)يعرف بالإنثالبي (H) . أي :-

$$Q + \int VdP = \Delta H$$

وإذا كان التسخين تحت ضغط ثابت فان:-

$$Q = \Delta H$$

ونسبة لأن التسخين تحت ضغط ثابت هو العادة في كثير من الحالات ، تعرف الإنثالبي بالمحتوى الحراري

السعة الحرارية heat capacity

إذا سخنت كمية من المادة دون إحداث تغيير في طبيعتها (مثل ذوبانها أو تبخرها) فإنه يمكن بسهولة قياس الحرارة المضافة والتغير في درجة الحرارة الناتج. السعة الحرارية هي كمية الحرارة اللازمة لإحداث تغير في درجة الحرارة . إذا كانت السعة الحرارية لمادة ثابتة فان العلاقة بين كمية الحرارة ودرجة الحرارة تكون خطية وميل هذه العلاقة هي السعة الحرارية. ولكن إذا كانت العلاقة غير خطية وبهذا يكون هناك تغير في سعة المادة الحرارية مع تغير درجة الحرارة فان السعة الحرارية عند درجة حرارة معينة تساوى ميل العلاقة عند درجة الحرارة تلك.

عند التسخين تحت ضغط ثابت p فان السعة الحرارية C تعادل:

$$Cp = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p$$

وعند التسخين تحت حجم ثابت v فان :

$$C_v = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v$$

الفرق بينهما بالنسبة للمواد الصلبة والسوائل بسيط جدا ويمكن تجاهله ولكنه فرق كبير في حالة الغازات التي يكون التسخين فيها عادة تحت ضغط ثابت .

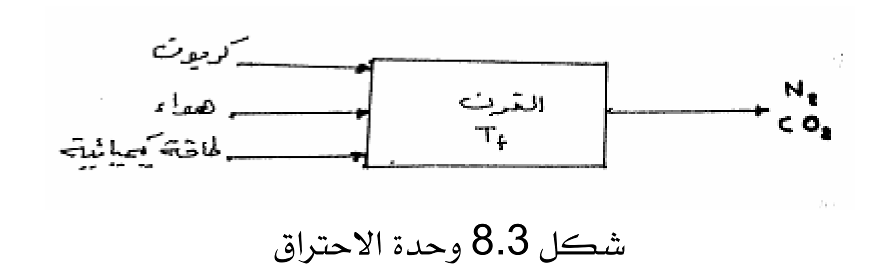
كمية الحرارة لإحداث تغير ما في درجة الحرارة تتغير مع كتلة المادة ولهذا فان السعة الحرارية تعبر عن وحدة كتلة من المادة. الحرارة النوعية specific heat تستخدم لتعني نسبة السعة الحرارية لمادة ما إلى السعة الحرارية للماء. بالنسبة للمواد الغذائية فان السعة الحرارية يمكن حسابها من المعادلة التالية :-

$$C_p = 33.49(a) + 837.6.......J/kgK$$

حيث a = نسبة الماء في المادة الغذائية .

مثال 8.3

يراد تحديد درجة الحرارة التي يمكن توقعها عند احتراق فحم من النوع الجيد (100٪ كربون) بواسطة الهواء إذا كان الفحم والهواء يدخلان الفرن عند 15.6 C .



شكل 8.3 وحدة الاحتراق

بجانب الكربون والهواء اللذان يدخلان المنظوم هناك الطاقة الكيميائية التي تطلق عند تفاعل الكربون مع الهواء لإنتاج ثاني أكسيد الكربون .

$$C + O_2 + 3.7N_2 = CO_2 + 3.7N_2......\Delta H = -400000J/gmole$$

يمكن فرض درجة الحرارة 15.6 C كدرجة حرارة إسنادية وعندها تكون الإنثالبي صفرا.

الطاقة الداخلة = إنثالبي الفحم + إنثالبي الهواء + إنثالبي التفاعل .

الطاقة الخارجة = إنثالبي ثاني أكسيد الكربون + إنثالبي النيتروجين .

إذن :

$$400000 = 3.7C_{p_{N_2}}\left(T_f - 15.6\right) + (1)C_{p_{CO_2}}\left(T_f - 15.6\right)$$

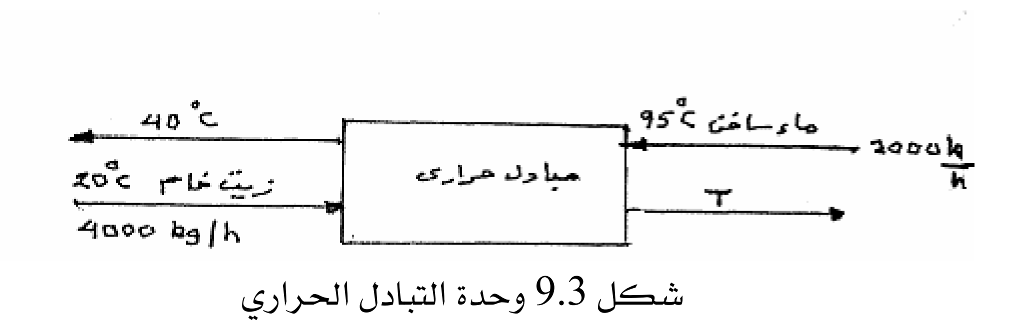
cp = الحرارة النوعية المتوسطة بين 15.6 C وTf . ولهذا تفرض قيم لـ Tf وتحدد قيمة cp ويمكن بالمحاولة الوصول إلى قيمة Tf التي تحقق اتزان الطاقة كما هو موضح في الجدول 1.3 أدناه .

Tf C فرضت	$C_{p_{N_2}} (J/gmoleK)$	$C_{p_{CO_2}}$	الطاقة الخارجة J/gmole
537.7	30.0	45.4	81656
1648.9	32.8	53.4	285436
2760.0	34.3	56.9	504448

وجد أن Tf تساوي تقريبا 2250 C

مثال 9.3

في مصنع لإزالة الرائحة من الزيت يسخن الزيت الخام في اتجاه معاكس مع الماء الحار في مبادل حراري . إذا كان معدل تدفق الماء الساخن في المبادل الحراري 200 kg/h ويدخل عند 95 C ويغادر عند 40 C . يتدفق الزيت الخام بمعدل 4000 kg/h . إذا كان الزيت يدخل عند 20 C كم تكون درجة حرارة خروج الزيت . علما بأن الحرارة النوعية للماء 4.19 kJ/kgK وللزيت 2.10kJ/kgK.



شكل 9.3 وحدة التبادل الحراري

الأساس ساعة واحدة .

الإنثالبي الداخلة مع الماء = mcp T = 2000(4.19)(95-40) = 460900kJ/h

الإنثالبي الداخلة مع الزيت = mcp T = 4000(2.10)(20-20) = 0

الإنثالبي الخارجة مع الماء = 2000(4.19)9T-20) = 167600kJ/h

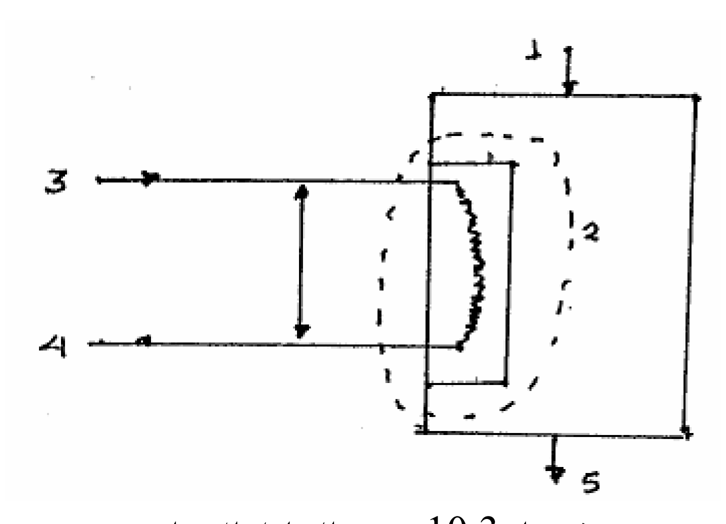
الإنثالبي الخارجة مع الزيت = (4000(2.10)9T-20

إذن باتزان الإنثالبي (20-T)(2.10)4000+167600 = 460900

T = 55 C

مثال 10.3

يدخل البخار المستخدم لتسخين تفاعل إلى المبادل الحراري بسرعة 30 m/s . البخار مشبع وعند ضغط مطلق يعادل 2.563 bar (128.26 C). يتكثف البخار كليا ويغادر المبادل الحراري عند 100 C بسرعة 0.3 m/s .الفرق في الارتفاع بين دخول البخار أعلى المبادل الحراري وخروج ناتج التكثيف أسفله يساوى 3 m . كم هي الطاقة التي تم الحصول عليها لكل واحد كيلوجرام من ناتج التكثيف ؟



شكل 10.3 وحدة التبادل الحراري

1. المادة الأولية 2. حدود المنظوم 3. بخار مشبع 4. ناتج التكثيف 5. الناتج

من جداول البخار :

إنثالبي البخار عند ضغط مطلق 2.563 bar تساوى 2718.0 kJ/kg

إنثالبي ناتج التكثيف عند 100 C = 419.04 kJ/kg

إذا تجاهلنا الطاقة الحركية وطاقة الموضع للبخار فيمكن إجراء اتزان للحرارة كالآتي:

الأساس واحد كيلوجرام من ناتج التكثيف

$$Q = H$$
$$Q = 419.04 - 2718.0 = -2298.96 \text{ kJ/kg}$$

الإشارة السالبة تشير إلى أن المنظوم المختار في المبادل الحراري يعطي طاقة مقدارها 2298.96 kJ لكل كيلوجرام من ناتج التكثيف.

إذا استخدمنا التعبير الكلى لاتزان الطاقة فان:-

$$Q - W = \ H = \ (PE) + \ (KE)$$

وبحيث أنه لا شغل عبر هذا المنظوم فان $W = 0$

الأساس واحد كيلوجرام من ناتج التكثيف :-

طاقة الموضع بالنسبة للبخار المشبع = mgh

$$= 1(9.81)300$$
$$= 29.43 \text{ J} = 0.02943 \text{ kJ}$$

طاقة الموضع بالنسبة لناتج التكثيف = $1(9.81)\ 0 = 0$ kJ

الطاقة الحركية بالنسبة للبخار المشبع = $\frac{mv^2}{2}$

$$\frac{1(30)^2}{2}$$

$$= 450 \text{ J} = 0.450 \text{ kJ}$$

الطاقة الحركية بالنسبة لناتج التكثيف = $\frac{1(0.3)^2}{2}$

$$= 0.045J = 0.000045kJ$$

إذن :

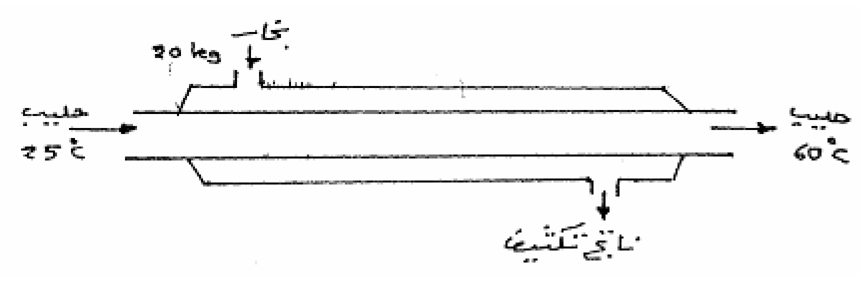
$$Q - 0 = -2298.96 + (0 - 0.02943) + (0.000045 - 0.450)$$
$$= -2299.44 \text{ kJ}$$

وهذه القيمة تختلف فقط ب 0.02٪ عن القيمة التي تم حسابها من اتزان الحرارة . ولهذا لكل الأغراض العملية يمكن اعتبار اتزان الحرارة تعبيرا جيدا عن الاتزان الكلى للطاقة .

مثال 11.3

أحسب كتلة الحليب (حرارته النوعية 3.9 kJ/kgK) المراد تسخينه من 25 C إلى 60 C في مبادل حراري يستعمل فيه 20 kg بخار درجة حرارته 120.42 C .

1. إذا كان البخار جافا مشبعا وناتج التكثيف يخرج عند نفس درجة حرارة البخار.
2. إذا كانت جودة البخار 90٪ وناتج التكثيف يخرج عند نفس درجة حرارة البخار.
3. إذا كانت جودة البخار 90٪ وناتج التكثيف يخرج عند درجة حرارة 100 C .



شكل 11.3 وحدة التبادل الحراري

1. اتزان الطاقة:

كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الحليب = كمية الحرارة المفقودة من البخار

كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الحليب = $m\ cp\ T$

$= m (3.9) (60 - 25)$

كمية الحرارة المفقودة من البخار = $m\ hfg$

من جداول البخار عند 120.42 C نجد أن: $hfg = 2201.1$ kJ/kg

كمية الحرارة المفقودة من البخار = KJ (2201.1) 20

إذن:

$$m (3.9) (60 - 25) = 20 (2201.1)$$

m = كتلة الحليب = 322.5 kg

2. كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الحليب كما في (1) .

كمية الحرارة المفقودة من البخار = $mx\ hfg$ x = جودة البخار

$= 20 (0.9) 2201.1$

إذن:

$$m (3.9) (60 - 25) = 20 (0.9) 2201.1$$

m = كتلة الحليب = 290.3 kg

3. كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الحليب كما في (1) .

كمية الحرارة المفقودة من البخار = $m[xhg_{Ts} + (1-x)hf_{Ts} - hf_{Tc}]$

حيث:

hg_{Ts} = المحتوى الحراري للبخار عند درجة حرارة البخار 120.42 C = 2706.7 kJ/kg

hf_{Ts} = المحتوى الحراري للماء المشبع عند درجة حرارة البخار 120.42 C = 505.6 kJ/kg

hf_{Tc} = المحتوى الحراري لناتج التكثيف عند درجة حرارة ناتج التكثيف 100 C = 419.04 kJ/kg

إذن :

كمية الحرارة المفقودة من البخار =

20[0.9 (2706.7) + 0.1 (505.6) - 419.04]

= 41352 kJ

إذن:

m (3.9) (60 -25) = 41351

m = كتلة الحليب = 302.9 kg

أسس هندسة تصنيع غذائي

خليط الغازات والأبخرة

الوحدة الرابعة : خليط الغازات والأبخرة .

الجدارة: استخدام خريطة الرطوبة لتحديد خواص الهواء الرطب

الأهداف: أن يحدد المتدرب خواص الهواء الرطب باستخدام الخريطة السيكرومترية

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: 3 ساعات

الوسائل المساعدة: الخريطة السيكرومترية

خليط الغازات والأبخرة

Mixtures of gases and vapors

ليس هناك فرق بين الغاز والبخار . الغاز هو الاسم العام ولكن المادة التي في الحالة الغازية وفى ظرف أن تكون قرب حالة التكثف يمكن أن نطلق عليها بخار . تحدث معظم تطبيقات تصنيع الأغذية التي تشتمل خليطا من الغازات عند أو قرب الضغط الجوى ويمكن تطبيق قانون الغاز المثالي .

يمكن أن يعبر عن تركيب خليط الغاز بدلالة نسبة الوزن weight percent أو جزء الوزن weight fraction . ونسبة للعلاقة البسيطة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة فان هناك ميزة في استخدام جزء الجزيء mole fraction بدلا عن جزء الوزن للتعبير عن تركيب الغازات .

أحدى نتائج قانون الغاز المثالي عند تطبيقه على خليط هي أنه يمكن اعتبار أي غاز في حجم الخليط مستقلا وكأنه يحتل كل الحجم. ولهذا إذا كان هناك خليط من الغازات C,B,A فيمكن أن نكتب :-

$$Pa = Na\ RT/V$$
$$Pb = Nb\ Rt/V$$
$$Pc = Nc\ RT/V$$

وللخليط ككل:

$$P = Nt\ RT/V = (Na + Nb + Nc)\ RT/V$$

والضغط Pc, Pb, Pa هي ضغط كل غاز إذا كان يحتل مستقلا كل الحجم ويعرف بالضغط الجزئي.

من المعادلة السابقة نحصل على:

$$P = Pa + Pb + Pc$$

أي إن مجموع الضغط الجزئي لغازات الخليط يعادل الضغط الكلى للخليط وهذا ما يعرف بقانون دالتون

من هذه المعادلات أيضا نحصل على:

$$Pa/P = Na/Nt = xa$$

أي إن الضغط الجزئي لأي غاز يعادل جزء الجزيء (xa) مضروبا في الضغط الكلى. وبنفس الأسلوب يمكن اعتبار أن:

$$Va = Na\ RT/V$$
$$Vb = Nb\ RT/V$$
$$Vc = Nc\ RT/V$$
$$V = Nt\ RT/V$$

وفى هذه الحالة يكون حجم أي غاز مساويا للحجم الكلى مضروبا في جزء الجزيء.

1.4 علم قياس الرطوبة Psychometry

هذا العلم يفسر أداء خليط من أبخرة قابلة للتكثيف مع غازات أخرى غير قابلة للتكثف وخاصة بالنسبة لأنظمة خليط الهواء والماء . حيث تقاس الرطوبة لمعرفة خصائص وأداء خليط الغاز والبخار . الأساسيات في هذا الأداء لها تطبيقات مهمة في التجفيف، التبريد بالتبخير، الترطيب وإزالة الرطوبة، التكييف وكثير من الظواهر الطبيعية التي تشتمل على تبخير وتكثيف الماء .

1.1.4 تعريفات

1. نقطة الندى dew point أو نقطة التشبع saturation point

إذا برد خليط هواء وبخار ماء تحت ضغط ثابت فان الضغط الجزئي لكل من عناصر الخليط يظل ثابتا حتى تنخفض درجة الحرارة إلى درجة حرارة التشبع المناظرة إلى الضغط الجزئي لبخار الماء . عند هذه النقطة يصبح بخار الماء في حالة تشبع وأي تبريد آخر يؤدي إلى تكثفه . درجة الحرارة في هذه الحالة تعرف بنقطة الندى أو نقطة التشبع .

2. الرطوبة humidity (Y)

وهي أيضا تعرف بالرطوبة المطلقة ، الرطوبة النوعية ، نسبة الرطوبة . وهى كتلة بخار الماء الموجودة في وحدة كتلة من الهواء الجاف . إذا فرضنا قانون الغاز المثالي فان :-

$$Y = \frac{m_v}{m_a} = \frac{M_v P_v V / RT}{M_a P_a V / RT} = \frac{M_v P_v}{M_a P_a}$$

$$= \frac{18.02 P_v}{28.98 (P - P_v)}$$

$$= 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$$

حيث :

Pv = الضغط الجزئي لبخار الماء في الخليط

P = الضغط الكلى للخليط

من هذه المعادلة يمكن رسم منحنى رطوبة هواء مشبع بدلالة درجة الحرارة كما في الشكل 1.4 .

مثال 1.4

أحسب رطوبة هواء مشبع عند 39 C وضغط كلي 1.013 bar .

من جداول البخار :

Pv = Ps = 0.07 bar
Ys = 0.622 (0.07) / (1.013 - 0.07)
= 0.046 kg H2O/kg dry air

3. رطوبة التشبع (Ys) saturation humidity

وهى الرطوبة المطلقة للهواء المشبع . يكون ضغط بخار الماء في الهواء المشبع مساويا لضغط البخار للماء عند درجة حرارة الهواء .

$$Y_s = \frac{M_w P_w}{M_a (P - P_w)}$$

حيث Pw =ضغط البخار للماء عند درجة حرارة الهواء .

4. نسبة الرطوبة المطلقة (Yp) percent absolute humidity

وهى نسبة الرطوبة المطلقة للخليط عند درجة حرارة معينة إلى رطوبة التشبع عند نفس درجة الحرارة (معبرا عنها كنسبة) .

$$Y_p = \frac{Y}{Y_s} 100 = \frac{p_v (P - P_w)}{P_w (P - P_v)} 100$$

5. الرطوبة النسبية (RH) relative humidity

وهى نسبة الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء إلى ضغط بخار الماء المشبع عند نفس درجة الحرارة . عند نقطة الندى تكون الرطوبة النسبية 1.0 . عادة تضرب الرطوبة النسبية في 100 لتصير كنسبة .

RH = Pv/Pw

مثال 2.4

أحسب رطوبة الهواء المطلقة الذي رطوبته النسبية 60٪ عند درجة الحرارة 39 C .

من جداول البخار :

Pw = 0.07 bar
Pv = 0.6 (0.07) = 0.042 bar
Y = 0.622 Pv / (p - Pv)
= 0.622 (0.042) / (1.013 - 0.042)
= 0.027 kg H2O / kg dry air

6. كمية الحرارة الرطبة humid heat (Cy)

وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من الهواء الجاف وبخار الماء الذي تحتويه درجة واحدة عند ضغط ثابت . تحت ظروف الرطوبة العادية تكون السعة الحرارية للهواء وبخار الماء ثابتة عند 1.005 , 1.884 kJ/kg K. ولهذا فان :

$$Cy = 1.005 + 1.884\ Y \qquad kJ/kg\ K$$

7. الإنثالبي الكلية total enthalpy (H)

وهى كمية الحرارة لوحدة كتلة من الهواء الجاف وبخار الماء الذي يحتويه .

$$H = Ha + Y\ Hg$$

$$Ha = 1.005\ T \qquad (T \text{ in } C)$$

درجة حرارة الإسناد للهواء 0 C

مثال 3.4

أحسب كمية حرارة الهواء في المثال السابق .

$$Ha = 1.005\ (39) = 39.2\ kJ/kg$$

من جداول البخار :

$$Hg\ (39\ C) = 2572.6\ kJ/kg$$

$$H = 39.2 + 0.027\ (2572.6) = 108.7\ kJ/kg \text{ dry air}$$

8. حجم الهواء الرطب humid volume (Vy)

وهو حجم كتلة خليط يحتوى على وحدة كتلة من الهواء الجاف عند ضغط جوى ودرجة حرارة معينة . إذا فرضنا قانون الغاز المثالي فان :

$$V_y = \frac{22.4}{273}(T + 273)\left(\frac{1}{M_A} + \frac{Y}{M_w}\right)$$

حيث T = درجة حرارة الخليط C

عندما تكون T = 0 فان Vy = الحجم النوعي للهواء الجاف

عندما تكون Y = Ys فان Vy = الحجم النوعي للهواء المشبع

9. درجة حرارة التشبع كاظم الحرارة (الأدياباتي) adiabatic saturation temperature

إذا مرر تيار هواء رطب في اتجاه مواز خلال رذاذ مياه عند درجة حرارة Ts تحت ظروف كاظمة للحرارة (أدياباتية) بحيث يكون الهواء الخارج في حالة اتزان مع الماء (أي مشبعا) وعند درجة حرارة Ts فان درجة الحرارة Ts تعرف بدرجة حرارة التشبع كاظم الحرارة . والخط الذي يحكم العلاقة بين درجة الحرارة والرطوبة للهواء أثناء التبريد كاظم الحرارة يعرف بخط التبريد كاظم الحرارة (أو خط التشبع كاظم الحرارة) . معادلة هذا الخط هي :

$$Y_s - Y = \frac{C_y}{L_s}\left(T - T_s\right)$$

حيث Ls = الحرارة الكامنة لتبخر الماء عند Ts .

10. درجة الحرارة الرطبة (Tw) wet bulb temperature

إذا لامست نقطة من الماء كمية كبيرة من هواء غير مشبع فان جزءا من السائل يتبخر في الهواء . عندما يتبخر الماء فانه يمتص الحرارة ويبدأ السائل يبرد . ولكن عندما يصبح السائل أبرد من الهواء يبدأ انتقال الحرارة المحسوسة من الهواء إلى السائل . وبهذه الطريقة يكون هناك اتزان حركي وتكون كمية الحرارة الممتصة بالتبخر تساوى تماما كمية الحرارة المكتسبة بالسائل من الهواء المحيط . تحت هذه الظروف لا يكون هناك كسب أو فقد للحرارة إلى المحيط وبهذا يحدث التبخر الأدياباتي . تحت هذه الظروف الأدياباتية فان درجة حرارة السائل تكون لها قيمة اتزان محددة وهى أقل من درجة حرارة الهواء وأعلى من نقطة الندى للهواء وهى ما تعرف بدرجة الحرارة الرطبة . وهى تقاس بواسطة ثيرموميتر مغطى بواسطة قماش مشبع دائما بالماء بحيث يكون معدل انتقال الحرارة من الهواء يعادل تماما معدل التبخر .

$$Y_w - Y = \frac{h_c}{L_w k}\left(T - T_w\right)$$

حيث Yw = رطوبة التشبع عند Tw

Lw = الحرارة الكامنة للتبخر عند Tw

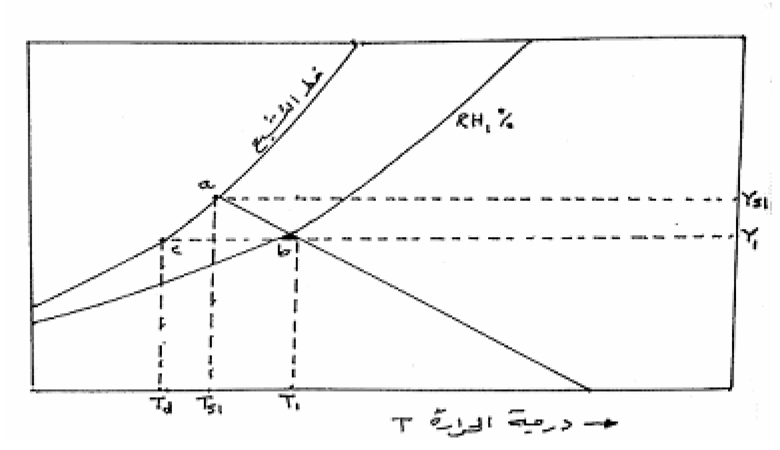
hc = معامل انتقال الحرارة

k = معامل انتقال الكتلة

وجد بالتجربة أنه في حالة خليط الهواء وبخار الماء فان Tw و Ts تقريبا متساويان ويمكن استعمال أي منهما مكان الآخر لمعظم العمليات الحسابية.

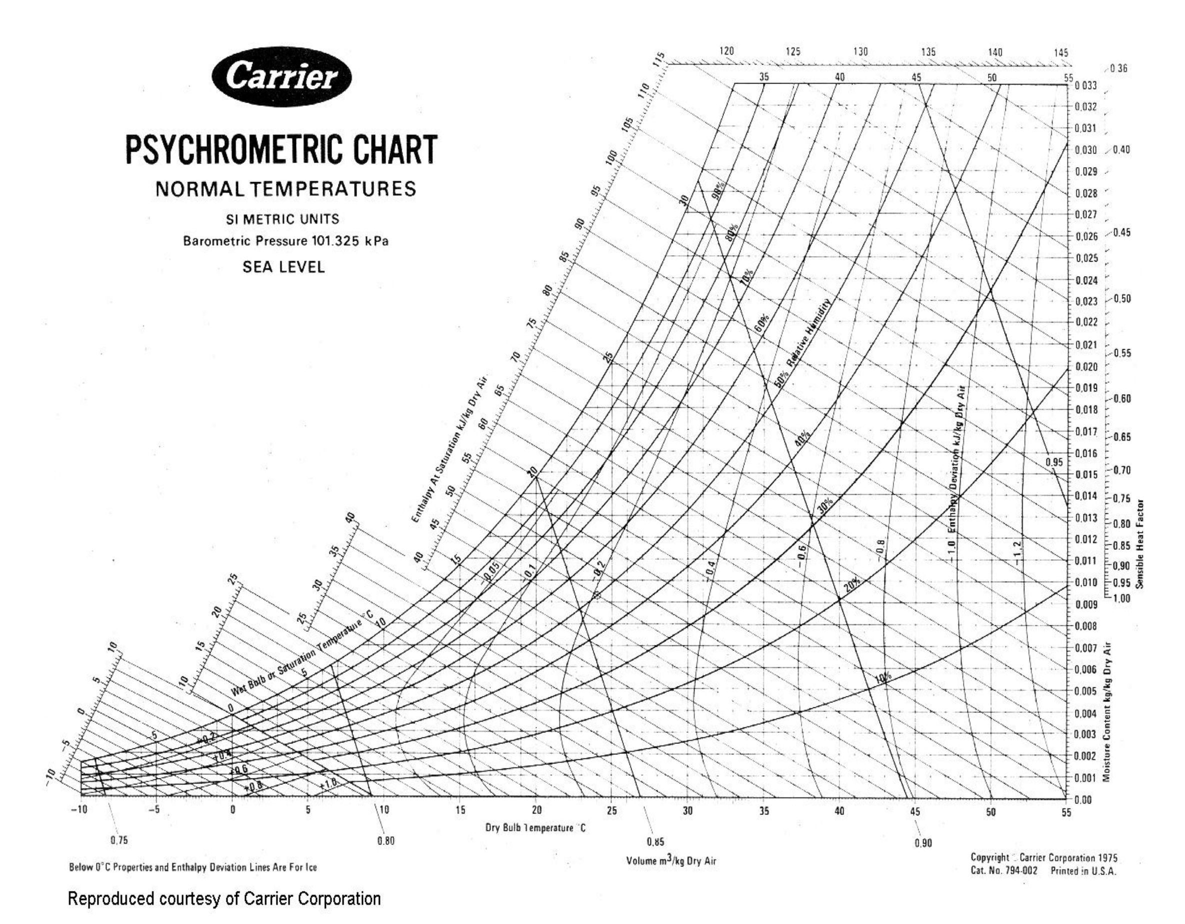
2.4 خريطة قياس الرطوبة psychometric (or humidity) chart

يمكن إبراز خصائص خليط الهواء وبخار الماء في صورة خريطة كما في الشكل 2.4 .
استعمال هذه الخريطة كما هو موضح في الشكل 1.4 أدناه .



شكل 1.4 استعمال خريطة الرطوبة

النقطة b على الخريطة تمثل عينة هواء رطب عند درجة حرارة T1 ومحتوى رطوبة Y1 . تحدد الرطوبة النسبية RH% بالمنحنى الذي يمثل الرطوبة المطلقة الثابتة الذي يمر بالنقطة b. النقطة c (أفقيا من النقطة b) على خط الرطوبة النسبية 100% يمثل نقطة الندى Td لهذا الهواء. والخط ab يمثل مسار النقاط التي تمثل عينات هواء لها نفس درجة حرارة التشبع الأدياباتية (درجة الحرارة الرطبة) . ودرجة الحرارة Ts1



شكل 2.4 خريطة قياس الرطوبة

تمثل درجة الحرارة الرطبة . Ys1 تمثل رطوبة التشبع. يمكن إيجاد درجة الحرارة الرطبة والحجم الرطب لهذا الهواء من منحنيات مساعدة على الخريطة .

مثال 4.4

أوجد خصائص الهواء الرطب الذي درجة حرارته الجافة 30 C ودرجة حرارته الرطبة 20 C .

من خريطة الرطوبة (شكل 1.4) :

رطوبة الهواء = 0.0104 kg H2O/kg dry air

محتوى الحرارة عند التشبع = 56.5 kJ/kg dry air

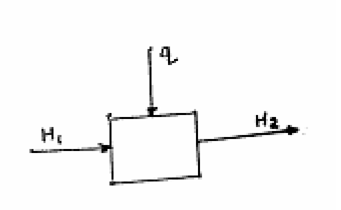
الحجم النوعي = 0.872 m^3/kg dry air

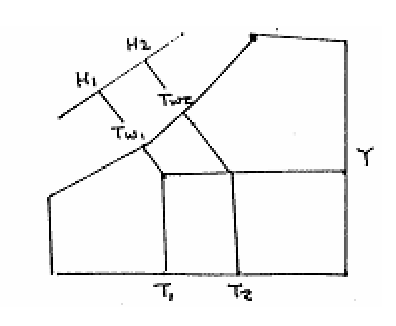
الرطوبة النسبية = 38%

نقطة الندى = 14.6 C

مثال 5.4

سخن هواء بواسطة بخار من ‎-1.0 C‎ درجة حرارة جافة و 80% رطوبة نسبية إلى ‎24.0 C‎ درجة حرارة جافة. أوجد الرطوبة النسبية ، درجة الحرارة الرطبة ونقطة الندى للهواء الساخن .حدد كمية الحرارة التي تمت إضافتها لكل كيلو جرام من الهواء الجاف .





من خريطة الرطوبة (شكل 1.4)

الرطوبة النسبية = 15٪

درجة الحرارة الرطبة = ‎11.1 C‎

نقطة الندى = ‎-3.5 C‎

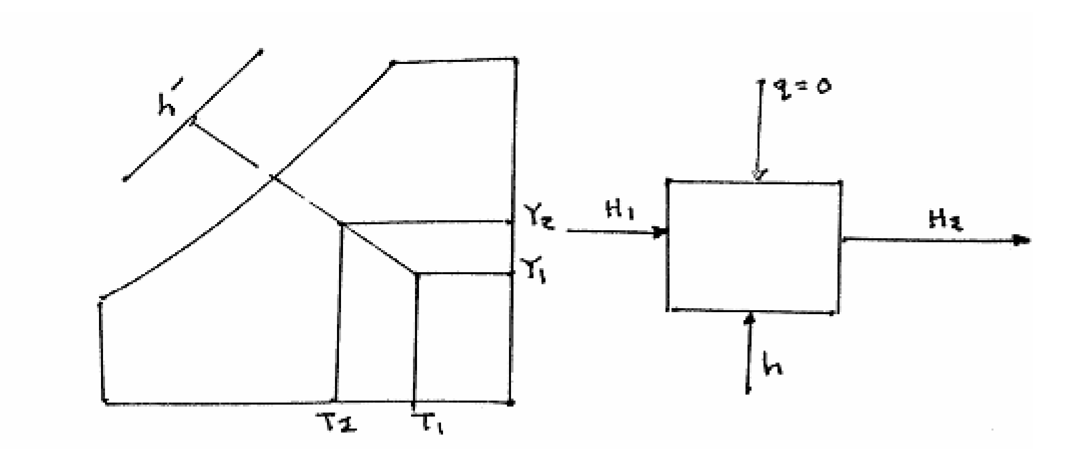
المحتوى الحراري للهواء الداخل (H1) = 6.0 kJ /kg

المحتوى الحراري للهواء الخارج (H2) = 31.5 kJ/kg

الحرارة التي تمت إضافتها (q) = 25.5 kJ/kg

مثال 6.4

هواء عند درجة حرارة جافة 35 C ودرجة حرارة رطبة 21 C . رش هذا الهواء برذاذ أدى إلى زيادة الرطوبة النسبية إلى 90% . أعيد دوران ماء الرش وتمت تكملته بماء درجة حرارته 21 C . حدد درجة الحرارة الجافة ، درجة الحرارة الرطبة ، التغير في إنثالبي الهواء وكمية الرطوبة المضافة لكل كيلوجرام من الهواء الجاف .



بما أن ماء الرش يدخل عند درجة حرارة رطبة 21 C وليس هناك حرارة مضافة أو مزالة منه فهي إذا عملية أدياباتية . وبهذا فليس هناك تغير في درجة الحرارة الرطبة . التغير الوحيد في الإنثالبي هو من ماء التكملة المضاف وهذا يتضح من :

الرطوبة الداخلة (Y1) = 0.0096 kg/kg

الرطوبة الخارجة (Y2) = 0.0152 kg/kg

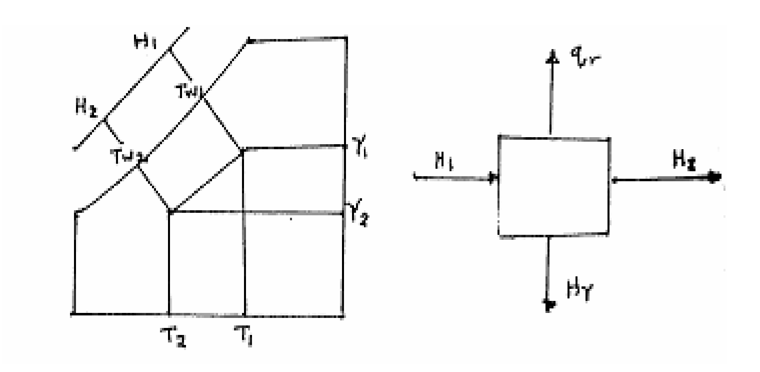
كمية الرطوبة المضافة = 0.0056 kg/kg

الإنثالبي الداخلة (H1) = 60.0 kJ/kg

الانثالبي الخارجة (H2) = 60.0 kJ/kg

مثال 7.4

أوجد الطاقة اللازمة للتبريد لكل كيلوجرام من الهواء الجاف الناتج من تسرب هواء غرفة درجة حرارته الجافة C 27 ودرجة حرارته الرطبة C 20 خلال مبرد حتى صارت درجة حرارته الجافة C 1- ودرجة حرارته الرطبة C 2- علما بأن درجة حرارة سطح المبرد C 7- وتتجمد فيه الرطوبة .



الإنثالبي الداخلة 57.0 kJ/kg = H1

الإنثالبي الخارجة 6.0 kJ/kg = H2

الرطوبة الداخلة 0.0117 kg/kg = Y1

الرطوبة الخارجة 0.0028 kg/kg = Y2

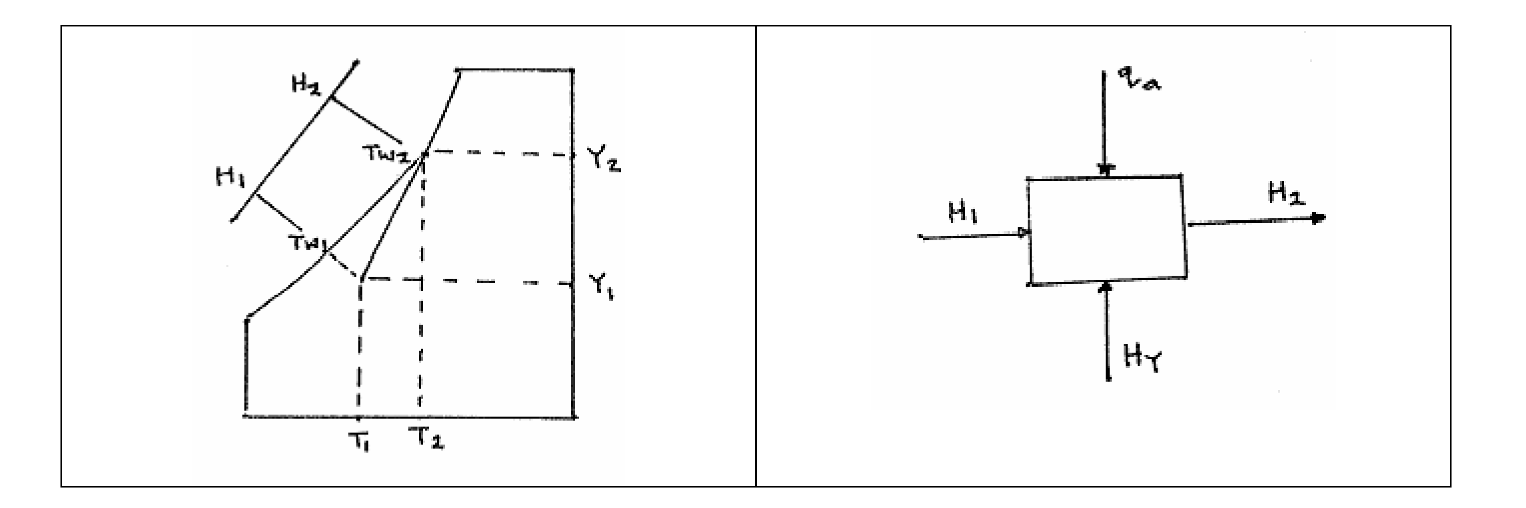
الرطوبة التي تم طردها = 0.0089 kg/kg

الرطوبة المطرودة Hy = 0.0089 (4.183)(-1) = -0.037 kJ/kg

الطاقة اللازمة للتبريد qr = 57.0-6.0+0.037 = 51.04 kJ/kg

مثال **8.4**

حدد كمية الماء والطاقة المستهلكة لكل 30 m/min من الهواء الحراري يدخل عند درجة حرارة جافة C 22ودرجة حرارة رطبة C 10 ويخرج مشبعا عند C 31إذا كانت درجة حرارة الماء المضاف للتكملة .14 C



الرطوبة الخارجة Y2 = 0.029 kg/kg

الرطوبة الداخلة Y1 = 0.0026 kg/kg

الرطوبة المضافة = 0.0264 kg/kg

الرطوبة المضافة Hy = (14) (4.183) 0.0264 = 1.546 kJ/kg

الهواء الداخل H1 = 29 kJ/kg

الهواء الخارج H2 = 105.0 kJ/kg

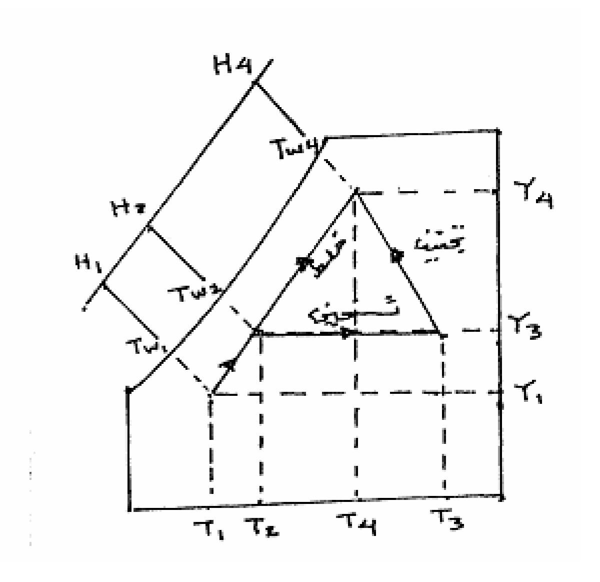
الطاقة المستهلكة qa = 105-29-1.546 = 74.45 kJ/kg

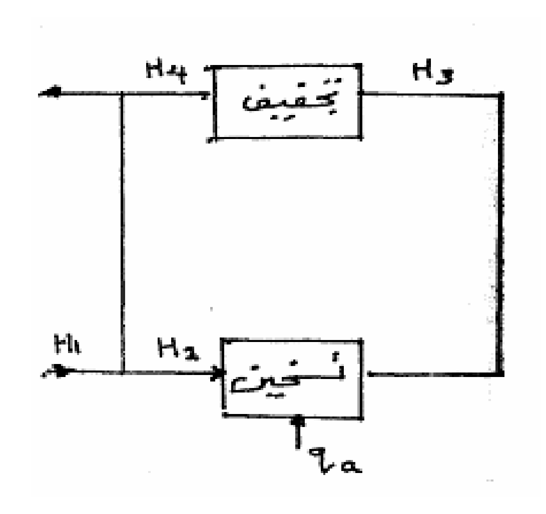
الحجم النهائي للهواء الداخل = 0.84 mm/kg

إذن الطاقة المستهلكة = (30)(74.45)/0.84 = 2659 kJ/min = 44.3 kW

مثال 9.4

مجفف يزيل 45 kg/h ماء من مادة. درجة الحرارة الجافة للهواء الحراري يدخل المجفف 60 C ودرجة الحرارة الرطبة 32 C . يغادر الهواء المجفف عند درجة حرارة 40 C . يعاد دوران جزء من الهواء بعد خلطه مع هواء الغرفة الحراري درجة حرارته الجافة 20 C ورطوبته النسبية 60٪ . حدد كمية الهواء اللازمة ، معدل دوران الهواء والعبء على السخان إذا كانت الظروف أدياباتية . ويمكن تجاهل تسخين المادة الداخلة والأجهزة .





رطوبة هواء الغرفة 0.0088 kg/kg = Y1

رطوبة الهواء الداخل إلي المجفف 0.0182 kg/kg = Y3

رطوبة الهواء الخارج من المجفف 0.0264 kg/kg = Y4

هواء الغرفة 42.5 kJ/kg = H1

الهواء الداخل 108.0 kJ/kg = H3

الهواء الخارج 108.0 kJ/kg = H4

كمية الهواء اللازمة = 45/(0.0264-0.0182) = 5487.8 kg/h

الحجم النهائي للهواء عند مدخل المجفف = 0.842 m**3/kg

إذن حجم الهواء = (0.842)(5487.8)/60 = 77 m**3/min

الجزء الحراري طرد = Wa/X = (0.0264-0.0182)/(0.0264-0.0088) = 0.466

حيث:

X = كمية الهواء المضاف من الغرفة

Wa = معدل تدفق الهواء الكلى

إذن 53.4 % من الهواء أعيد دورانه .

يحسب العبء على السخان من اتزان الطاقة حيث:

$$qa = 5487.8(108) - 2557.3\ (42.5) - 2930.5\ (108) = 167503.2\ kJ/h = 46.5\ kW$$

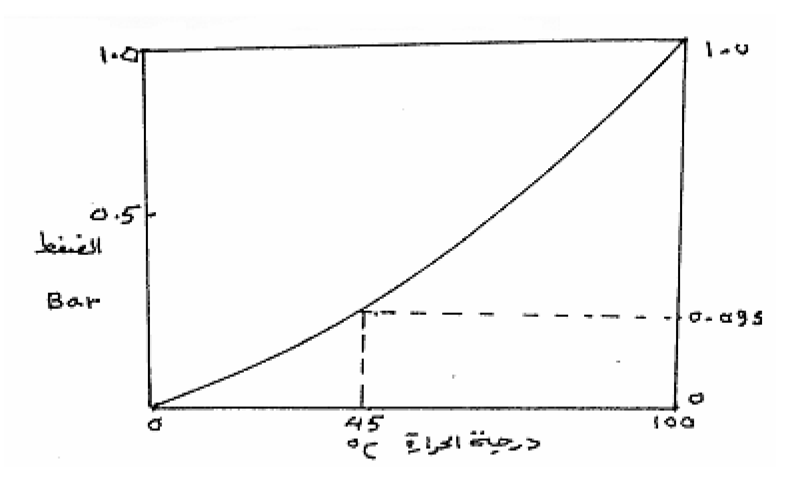
3.4 تطبيقات استخدام خريطة الرطوبة

1.3.4 التجفيف

يجب معرفة خصائص الهواء في عمليات التجفيف بالهواء الساخن . فمثلا إذا سخن الهواء الجوى إلي درجات حرارة معتدلة فان رطوبته النسبية تقل كثيرا وتزيد سعة تجفيفه. فمثلا إذا كان الهواء عند 20 C ورطوبته النسبية 85% وسعة تجفيفه 0.00086 kg/kg وسخن إلي 70 C فان رطوبته النسبية تقل إلي 7% وسعة تجفيفه تزيد إلي 0.02 kg/kg .

الرطوبة النسبية لهواء التجفيف هي العامل المهم الحراري الذي يحدد سعة التجفيف للهواء. إن مقدرة الهواء على التجفيف تعتمد على القوة الداخلة التي تحقق التجفيف وهى تقاس بفرق ضغط بخار ماء المادة المراد تجفيفها وضغط بخار الماء المناظر للرطوبة النسبية للهواء المستخدم في التجفيف . ويعتمد ضغط بخار الماء (كما هو الحال في كل السوائل) على درجة الحرارة (الشكل 3.4) .

يعتمد ضغط بخار الماء بالنسبة للماء في الهواء المشبع بالرطوبة أيضا على درجة الحرارة . وتمثل الرطوبة النسبية الجزء من ضغط بخار الماء المشبع في الهواء الحراري الذي به رطوبة أقل من التشبع. فمثلا إذا كانت الرطوبة النسبية للهواء 60% ودرجة حرارته 45 C فان ضغط بخار الماء هو 95.8 = 57.5 mbar (0.60) (من الشكل 3.4).



شكل 3.4 تغير ضغط بخار الماء مع درجة الحرارة

المادة المراد تجفيفها لها ضغط بخار ماء محدد. إذا كان سطحها رطبا فان ضغط البخار يكون مساويا لدرجة حرارة السطح. إذا كان السطح جافا فان ضغط البخار يكون أقل وكلما جفت المـادة فان الرطوبة تقل ويقل ضغط البخار حتى يقارب الصفر. ولهذا فان ضغط بخار المادة يمثل القوة الدافعة لفقدان الماء أي التجفيف .وفى المقابل فان ضغط بخار الماء في الهواء والتي يحدده الشكل 3.4 ورطوبته النسبية يمثل قوة الدفع المضادة للتجفيف وزيادة ضغط بخار الماء على ضغط بخار الهواء يمثل مقدرة الهواء على التجفيف في أي حالة من الحالات . وهذا أحد العوامل التي تحدد سرعة التجفيف .

وكنتيجة طبيعية لحقيقة أن الرطوبة النسبية للهواء المستخدم في التجفيف يجب أن تكون أقل ما يمكن للحصول على سعة ومعدل تجفيف عاليين هو أنه في الحدود المعتدلة يعتمد معدل التجفيف على الرطوبة النسبية للهواء أكثر من اعتماده على درجة الحرارة الجافة . عندما يكون ضغط بخار المادة والهواء متساويين فان مقدرة التجفيف تكون صفرا ويتوقف التجفيف . في هذه النقطة يقال أن محتوى الماء للمادة في حالة اتزان مع الرطوبة النسبية لهواء التجفيف .

1.1.3.4 درجة الحرارة الرطبة في التجفيف الأدياباتي

القاعدة الثانية للتجفيف توضح العلاقة بين درجة الحرارة الرطبة لهواء التجفيف وأخذ الرطوبة بواسطة الهواء . تسري هذه القاعدة عندما يمرر هواء التجفيف على مادة رطبة تحت ظرف أديباتي (كاظم الحرارة) . أي لا تضاف حرارة أو تخرج حرارة من جهاز التجفيف . يجب أن تكون الرطوبة النسبية للهواء الداخل أقل من 100% وإلا لن يحدث أي تجفيف. ولهذا يجب أن تكون هناك فروق بين درجة الحرارة الجافة، درجة الحرارة الرطبة، ونقطة الندى. فعندما يمر الهواء على مادة رطبة (بفرض أن سطحها رطب ولهذا فان ضغط بخارها أعلى ما يمكن) فان درجة الحرارة الرطبة لهواء التجفيف تظل ثابتة في حين أن

درجة الحرارة الجافة تنخفض كلما أخذ الهواء رطوبة أكثر وفى نفس الوقت ترتفع نقطة الندى . إذا استمرت هذه العملية حتى أصبح الهواء مشبعا فان درجة الحرارة الجافة تنخفض حتى تساوى درجة الحرارة الرطبة . وترتفع نقطة الندى حتى تساوى درجة الحرارة الرطبة مشيرة إلي أن محتوى رطوبة الهواء ارتفعت إلي أقصى سعة له .

هذا يعني باختصار أن الكمية المطلوبة من الحرارة يتم الحصول عليها بتبريد هواء التجفيف لإمداد الحرارة الكامنة لتبخير الرطوبة التي أخذها الهواء من المادة التي تم تجفيفها. هذا بافتراض أن درجة الحرارة الابتدائية للمادة تساوى أو تقارب درجة الحرارة الرطبة للهواء. أما إذا كانت أبرد فإنها تحتاج إلي حرارة محسوسة من الهواء لتسخينها وبهذا تنخفض درجة الحرارة الرطبة للهواء على حسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين المادة . تستخدم هذه القاعدة الأساسية لحساب سعة التجفيف للهواء .

2.1.3.4 سعة التجفيف للهواء drying capacity of air

محتوى رطوبة هواء التجفيف الذي يدخل المجفف تكون معلومة . وتحدد بسهولة بمعرفة درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة الرطبة واستخدام خريطة الرطوبة لتحديد الخصائص الأخرى . لا يتغير محتوى الرطوبة هذا (الرطوبة المطلقة) إلا إذا أضيفت أو أزيحت رطوبة من الهواء .

للوصول إلي درجة التشبع أثناء عملية التجفيف يجب أن تنخفض درجة الحرارة الجافة حتى تساوى درجة الحرارة الرطبة والتي تظل ثابتة . ولهذا فان الهواء يمكن أن يأخذ رطوبة فقط إلي درجة التشبع عند درجة الحرارة الرطبة وليس عند درجة الحرارة الجافة الابتدائية. وطبيعيا لهذا فان الفرق بين الرطوبة المطلقة الابتدائية والرطوبة المطلقة عند التشبع عند درجة الحرارة الرطبة هي سعة التجفيف للهواء. المثال التالي يوضح هذا أكثر .

مثال 10.4

افرض أن درجة حرارة هواء التجفيف كانت 58 C ودرجة حرارته الرطبة 30 C .

من خريطة الرطوبة نلاحظ أن نقطة الندى 20 C والرطوبة المطلقة 0.0148 kg/kg.

الرطوبة المطلقة عند التشبع في 30 Cهي 0.0273 kg/kg.

إذن سعة التجفيف للهواء تساوى 0.0125 kg/kg .

وبما أن الهواء عند درجة حرارة جافة 58 Cودرجة حرارة رطبة 30 C ، له كثافة تعادل 0.96 m**3/kg إذن:

سعة التجفيف = 0.96/0.0125 = 0.0130 kg/m**3

3.1.3.4 إعادة دوران هواء التجفيف

هناك قاعدة مهمة في تصميم المجففات . في المثال السابق طرد الهواء المشبع عند درجة حرارة 30 C . إذا كانت درجة الحرارة المحيطة 15 C فان الحرارة الزائدة للهواء المطرود يمكن أن تستخدم لتسخين الهواء الداخل بواسطة مبادل حراري لخفض الطاقة اللازمة لتسخين الهواء إلي 58 C . هذا لا يتم عادة ولكن يمكن إضافة جزء من الهواء المطرود إلي الهواء الداخل للمجفف. هذا طبعا يؤدي إلي زيادة رطوبته والتي تقلل من سعة تجفيف خليط الهواء . وكذلك فان درجة الحرارة الرطبة والرطوبة النسبية ترتفعان . وأيضا هذا يقلل مقدرة التجفيف . في البداية ربما يظهر أن المساوئ أكثر من المحاسن . ولكن في الحقيقة فان هناك تحسنا ملموسا من إعادة الدوران.

فمثلا إذا سخنا هواء درجة حرارته الجافة 10 C في مجفف واعتبرنا حالتين لرطوبة هذا الهواء. الأول هواء رطب جدا رطوبته النسبية 90% والثاني هواء رطوبته قليلة جدا عند رطوبة نسبية 20٪. باستخدام خريطة الرطوبة يمكن الحصول على كل الخصائص المدونة في الجدول 1.4 تحت العنوان ابتدائي . إذا سخن الهواء الرطب جدا وذلك الذي رطوبته أقل إلي 60 C فان الهواء الساخن تكون له مجموعتان من الخصائص مدونة تحت العنوان مسخن .

إذا أخذ الهواء أقصى كمية من الرطوبة فان الهواء الرطب والهواء الجاف يكونان مشبعين عند درجة الحرارة الرطبة المناظرة لكل منهما . إذا فرض أن المادة المراد تجفيفها لها سطح رطب عند بدء التجفيف. والرطوبة للمادة في هذه الحالة هي 100% من ضغط بخار الماء عند درجة الحرارة . إذن مقدرة التجفيف النسبية هي 100 - 6 = 94 % بالنسبة للهواء الرطب و 100 - 2 = 98% بالنسبة للهواء الجاف وبهذا يكون للهواء الجاف ميزة 4%.

جدول 1.4 تغيير خصائص هواء التجفيف (درجة الحرارة C)

	درجة الحرارة الجافة	درجة الحرارة الرطبة	الرطوبة النسبية %	نقطة الندى	الرطوبة المطلقة kg/kg
ابتدائي :					
هواء رطب	10.0	9.0	90.0	8.5	0.0069
هواء جاف	10.0	2.5	20.0	10.0-	0.0015
مسخن :	60.0	26.0	6.0	8.5	0.0069

هواء رطب هواء جاف	60.0	22.6	2.0	10.0-	0.0015
مشبع : هواء رطب هواء جاف	26.0 22.6	26.0 22.6	100.0 100.0	26.0 22.6	0.0214 0.0173

إذا قورن ضغط البخار الحقيقي نلاحظ أن ضغط البخار الرطب الذي سخن إلي 60 C هو 12 mbar = (0.06) 200 وبالنسبة للهواء الجاف يساوى 200 (0.02) = 4 mbar في حين أن ضغط بخار المادة الرطبة المراد تجفيفها هو 200 mbar. وبهذا تكون مقدرة التجفيف الحقيقية للهواء الرطب تعادل 188 mbar = 12 - 200 وبالنسبة للهواء الجاف تعادل 200- 4 = 196 mbar وبالنسبة للهواء الجاف تماما تكون مقدرة تجفيفه 200 mbar. ونصل إلي نفس النتيجة السابقة وهى أن الهواء الرطب له 94% والهواء الجاف له 98% بالنسبة للمقدرة النظرية للتجفيف عند درجة حرارة 60 C . ويمكن بهذا أن نستنتج أن محتوى الرطوبة الابتدائي لهواء التجفيف لا يؤثر كثيرا على مقدرة التجفيف عند تسخينه .

سعة التجفيف للهواء هي الفرق بين محتوى رطوبته المطلقة الابتدائية ومحتوى رطوبته عند التشبع أي :

0.0214 - 0.0069 = 0.0145 kg/kg بالنسبة للهواء الرطب و

0.0173 -0.0015 = 0.0158 kg/kg بالنسبة للهواء الجاف. والنتيجة تشير إلي أن سعة التجفيف للهواء الجاف حوالي 9% أكثر من سعة التجفيف للهواء الرطب.

وبهذا يمكن استنتاج أنه حتى التغيرات القصوى في محتوى رطوبة الهواء الجوى المستخدم في التجفيف لها آثار بسيطة جدا على سعة التجفيف لهذا الهواء .

2.3.4 التبخير بالتبريد cooling by evaporation

أكثر تطبيقات أساسيات علم الرطوبة هي في التبريد بالتبخير . يمرر تيار هواء دافئ في جهاز التبريد بالتبخير على ماء بارد للحصول على هواء بارد . في حالة برج التبريد يبرد الماء الدافئ بواسطة تيار هواء . في كل من هذين التطبيقين فان التبريد يتم بالتبخير .

1.2.3.4 أجهزة التبريد بالتبخير evaporative coolers

التبريد بالتبخير هي طريقة شائعة وغير مكلفة للحصول على هواء بارد في تطبيقات التكييف. الأجزاء الأساسية لمكيف التبريد هي مروحة لتحريك الهواء، غرفة تحتوى على عبوة ماء حيث يلتحم الهواء بالماء ومضخة لدوران الماء. الذي يتم في مكيف التبريد هو ببساطة عملية تبريد تحت ظروف أدياباتية . يصل الماء في صهريج المكيف بسرعة إلي التشبع الأدياباتي أو إلي درجة الحرارة الرطبة وتتم باستمرار إضافة كمية من الماء لتعويض الماء الفاقد نتيجة للتبخر . زمن الالتماس عادة غير كاف ليصل الهواء إلي مرحلة الاتزان مع الماء ولهذا فان حالة الهواء تتابع خط الترطيب الأدياباتي إلي مرحلة قبل التشبع . فمثلا التغير الحقيقي في درجة حرارة الهواء الذي يمرر خلال المكيف يمكن أن تكون 80٪ من الفرق الحقيقي بين درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة الرطبة للهواء الداخل .

أجهزة التبريد بالتبخير تكون مؤثرة أكثر في المناطق الصحراوية حيث درجات الحرارة العالية والرطوبة المنخفضة. واستعمالها قليل في المناطق الرطبة . تؤدي هذه المبردات دائما إلي زيادة الرطوبة في الجو المبرد .هذه الزيادة في الرطوبة لا يكون هناك اعتراض عليها إذا كانت رطوبة الجو منخفضة . ولكن إذا كانت رطوبة الجو عالية وتصبح كفاءة التبريد بالتبخير متدنية ، فيمكن الحصول على هواء بارد بواسطة مبادلات حرارية في أنظمة التبريد حيث يبرد الهواء عادة إلي أقل من نقطة الندى الابتدائية وتتكثف الرطوبة . في هذه الطريقة تنخفض رطوبة الهواء المبرد عكس طريقة التبريد بالتبخير .

2.2.3.4 أبراج التبريد cooling towers

تحتاج معظم مصانع الأغذية إلي كميات كبيرة من مياه التبريد. المصانع التي تكون قريبة من مصادر إمداد المياه الطبيعية مثل المحيطات أو البحيرات أو الأنهار يمكنها الحصول على مياه التبريد من هذه المصادر وتصريفها فيها. ولكن في حالة المياه الداخلية هناك انتقاد لهذه الممارسة نسبة لتلوث البيئة الحراري أو زيادة حرارة المياه الطبيعية نتيجة لعمليات التصنيع الكثيرة.

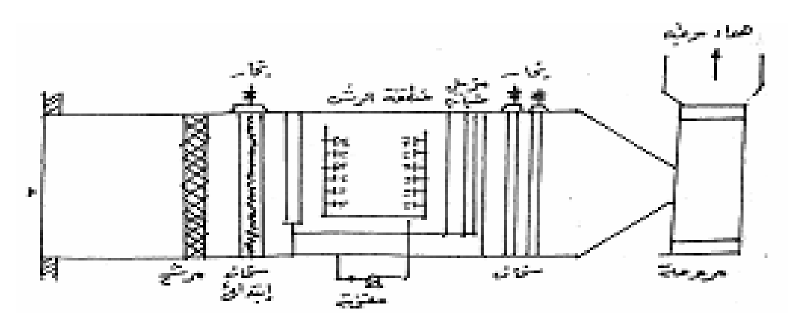
في المناطق التي لا يوجد فيها إمداد سهل للمياه الطبيعية فلا يمكن من الناحية الاقتصادية استعمال كميات معقولة من المياه للتبريد دون إعادة استعمالها مرة أخرى. ولهذا فانه من المهم تطوير طريقة اقتصادية لتبريد الماء الذي سخن في عمليات التصنيع لاستعماله مرة أخرى .

برج التبريد العادي عبارة عن تركيب مستطيل متعامد محشو بألواح أو شبكات خشبية . يحتوى النوع الأكثر استعمالا على مروحة في أعلاه تسحب الهواء إلي أعلى خلال الحشو. يرش الهواء الدافئ الذي يراد تبريده ببطء إلي أسفل في اتجاه معاكس لتيار الهواء . ويجمع الماء البارد من أسفل البرج .

3.3.4 الترطيب وإزالة الترطيب humidification and dehumidification

كثيرا ما يكون ضروريا تغيير كمية البخار الموجود في تيار غاز . إذا أردنا تخفيض الرطوبة فيجب أن يتم تكثيف جزئي وإزالة البخار المكثف. ويمكن زيادة محتوى الماء بتمرير الغاز على ماء يتبخر في تيار الغاز . زيادة محتوى الماء يعرف بالترطيب وخفضه يعرف بإزالة الرطوبة.

طريقة عمل جهاز الترطيب بتكييف الهواء الموضح في الشكل 4.4 يمكن تمثيلها على خريطة الرطوبة (شكل 5.4) بالخطوط ABCD.



شكل 4.4 خريطة الرطوبة لجهاز الترطيب

يدخل الهواء عند الظروف التي تمثلها النقطة A . ويسخن أولا إلي الظروف التي تمثلها النقطة B دون تغير في رطوبته بالاتصال بملف ساخن يسخن بواسطة البخار. ثم يمرر الهواء إلي منطقة الرش بالماء ويبرد أدياباتيا ويرطب إلي الظروف التي تمثلها النقطة C . يسخن الهواء المرطب بعد ذلك إلي الظروف النهائية المرغوبة والتي تمثلها النقطة D . أو بطريقة أخرى يمكن أن يتصل الهواء الداخل مع ماء ساخن بحيث تتم عملية الترطيب بتبريد قليل أو دون تبريد وهذا يمثله المنحنى AC . المنحنى AC أيضا يمثل طريقة عمل البرج حيث يتم الاتصال بين الماء الساخن والهواء وذلك لتبريد الماء .

إزالة الترطيب يمثلها الخط EF . وهو يمكن أن يتم باتصال الهواء بماء بارد (الشكل 5.4) دون الحاجة إلي سخانات الهواء . يؤدي التكثيف إلي إطلاق الحرارة الكامنة للتكثيف . وهذا يؤدي إلي ارتفاع درجة حرارة ماء التبريد . ليس من الضروري تبريد تيار الهواء كليا إلي نقطة الندىG لحدوث التكثيف ولكن لا يحدث تكثيف للماء من الهواء إلا إذا انخفضت درجة حرارة سطح التبريد إلي أقل من نقطة الندى . يمكن أن تتم إزالة الترطيب أيضا بواسطة المجففات الصلبة desiccants مثل silica gel أو alumina أو مثل محاليل كلوريد الليثيوم .

المراجع

Charm, S.E., 1978, The fundamentals of food engineering, 3rd ed., AVI Publ. Co., Westport
Harper, J.C., 1979, Elements of food engineering, AVI Publ. Co. Inc., Westport
Coulson, J.M. and Richardson, J.F., 1978, Chemical Engineering, vol 1, Pergamon Press
الحيي، سليمان عبد العزيز.(1420هـ). المدخل إلى هندسة الأغذية. جامعة الملك سعود

المحتويات